



WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS

RINGVAART ROND GENT NIEUWE SLUIS TE EVERGEM

HYDRODYNAMISCHE KRACHTEN OP SCHEPEN
BIJ VULLEN EN LEDIGEN VAN DE SLUISKOLK

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
Administratie Waterwegen en Zeewezen
Afdeling Bovenschelde



Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
Administratie Waterwegen en Zeewezen
Afdeling Bovenschelde

Model 572/2

RINGVAART ROND GENT NIEUWE SLUIS TE EVERGEM

Hydrodynamische krachten op schepen
bij vullen en ledigen van de sluiskolk

November 1999

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE.....	i
LIJST VAN DE FIGUREN.....	ii
0 SAMENVATTING.....	1
1 INLEIDING	2
2 ONDERZOEKSPLAN.....	3
3 VOORONTWERP BENODIGD AANTAL VLINDERKLEPPEN.....	4
4 EIGENSCHAPPEN VAN HET SCHAALMODEL	7
4.1 Ruwbouw van het schaalmodel.....	7
4.2 Elektromechanisch gedeelte van het schaalmodel	8
4.3 Schaalmodellen van de scheepskonvoeien	9
4.4 Totale opstelling van het schaalmodel	9
5 LEIDRAAD BIJ HET ONDERZOEK: TROSKRACHTCRITERIA	11
5.1 Definitie.....	11
5.2 Vroegere criteria.....	11
5.3 Nieuwe criteria.....	11
5.4 Het volgende kon afgeleid worden:	12
5.5 BESLUIT	14
6 BESPREKING PROEVEN	16
6.1 Registratie en verwerking meetgegevens	16
6.2 Analyse van de meetresultaten	18
7 BESLUITEN EN AANBEVELINGEN	21
7.1 Besluiten voor het onderzoek in het hydraulisch model	21
7.2 Vervolg van het onderzoek met een numeriek model	21
7.3 Aanbevelingen.....	22

BIJLAGE A

LITERATUURLIJST

FIGUREN

LIJST VAN DE FIGUREN

Figuur 1	Situering stuw- en sluiscomplex te Evergem
Figuur 2	Inplanting nieuwe sluis te Evergem
Figuur 3	Plattegrond en doorsneden van het model
Figuur 4	Details en doorsneden van het model
Figuur 5	Details van de ruwbouw van het schaalmodel
Figuur 6	Gronplan sluisdeur in schaalmodel
Figuur 7	Vooraanzicht sluisdeur in schaalmodel
Figuur 8	Vooraanzicht sluisdeuren in schaalmodel
Figuur 9	Gebruikte vlinderkleppen
Figuur 10	K_v - waarden van fabrikant
Figuur 11	Foto's duwboot en duwbak
Figuur 12	Meetopstelling
Figuur 13	Bovenaanzicht met boten van het schaalmodel
Figuur 14	Foto's krachtenmeters
Figuur 15	Lediging sluis. Resultaten proef L2B001
Figuur 16	Lediging sluis. Resultaten proef L2B002
Figuur 17	Lediging sluis. Resultaten proef L2B003
Figuur 18	Lediging sluis. Resultaten proef L2B004
Figuur 19	Lediging sluis. Resultaten proef L2B005
Figuur 20	Lediging sluis. Resultaten proef L2B006
Figuur 21	Lediging sluis. Resultaten proef L2B007
Figuur 22	Lediging sluis. Resultaten proef L2B008
Figuur 23	Lediging sluis. Resultaten proef L2B009
Figuur 24	Lediging sluis. Resultaten proef L2B010
Figuur 25	Lediging sluis. Resultaten proef L2B011
Figuur 26	Lediging sluis. Resultaten proef L2B012
Figuur 27	Lediging sluis. Resultaten proef L2B013
Figuur 28	Lediging sluis. Resultaten proef L2B014
Figuur 29	Lediging sluis. Resultaten proef L2B015
Figuur 30	Lediging sluis. Resultaten proef L2B016
Figuur 31	Lediging sluis. Resultaten proef L2B017
Figuur 32	Lediging sluis. Resultaten proef L2B018
Figuur 33	Lediging sluis. Resultaten proef L2B019
Figuur 34	Lediging sluis. Resultaten proef L2B020
Figuur 35	Lediging sluis. Resultaten proef L2B021
Figuur 36	Lediging sluis. Resultaten proef L2B022
Figuur 37	Lediging sluis. Resultaten proef L2B023
Figuur 38	Lediging sluis. Resultaten proef L2B024
Figuur 39	Lediging sluis. Resultaten proef L2B025

Figuur 40	Lediging sluis. Resultaten proef L2B026
Figuur 41	Lediging sluis. Resultaten proef L2B027
Figuur 42	Lediging sluis. Resultaten proef L2B028
Figuur 43	Lediging sluis. Resultaten proef L2B029
Figuur 44	Lediging sluis. Resultaten proef L2B030
Figuur 45	Lediging sluis. Resultaten proef L2B031
Figuur 46	Lediging sluis. Resultaten proef L2B032
Figuur 47	Lediging sluis. Resultaten proef L2B033
Figuur 48	Lediging sluis. Resultaten proef L2B034
Figuur 49	Lediging sluis. Resultaten proef L2B035
Figuur 50	Lediging sluis. Resultaten proef L2B036
Figuur 51	Lediging sluis. Resultaten proef L2B037
Figuur 52	Lediging sluis. Resultaten proef L2B038
Figuur 53	Lediging sluis. Resultaten proef L2B039
Figuur 54	Lediging sluis. Resultaten proef L2B040
Figuur 55	Lediging sluis. Resultaten proef L2B041
Figuur 56	Lediging sluis. Resultaten proef L2B042
Figuur 57	Lediging sluis. Resultaten proef L2B043
Figuur 58	Lediging sluis. Resultaten proef L2B044
Figuur 59	Lediging sluis. Resultaten proef L2B045
Figuur 60	Lediging sluis. Resultaten proef L2B046
Figuur 61	Lediging sluis. Resultaten proef L2B047
Figuur 62	Lediging sluis. Resultaten proef L2B048
Figuur 63	Lediging sluis. Resultaten proef L2B049
Figuur 64	Lediging sluis. Resultaten proef L2B050
Figuur 65	Lediging sluis. Resultaten proef L2B051
Figuur 66	Lediging sluis. Resultaten proef L2B052
Figuur 67	Lediging sluis. Resultaten proef L2B053
Figuur 68	Lediging sluis. Resultaten proef L2B054
Figuur 69	Lediging sluis. Resultaten proef L2B055
Figuur 70	Lediging sluis. Resultaten proef L2B056
Figuur 71	Lediging sluis. Resultaten proef L2B057
Figuur 72	Lediging sluis. Resultaten proef L2B058
Figuur 73	Vulling sluis. Resultaten proef V2B001
Figuur 74	Vulling sluis. Resultaten proef V2B002
Figuur 75	Vulling sluis. Resultaten proef V2B003
Figuur 76	Vulling sluis. Resultaten proef V2B004
Figuur 77	Vulling sluis. Resultaten proef V2B005
Figuur 78	Vulling sluis. Resultaten proef V2B006
Figuur 79	Vulling sluis. Resultaten proef V2B007
Figuur 80	Vulling sluis. Resultaten proef V2B008
Figuur 81	Vulling sluis. Resultaten proef V2B009
Figuur 82	Vulling sluis. Resultaten proef V2B010
Figuur 83	Vulling sluis. Resultaten proef V2B011

Figuur 84	Vulling sluis. Resultaten proef V2B012
Figuur 85	Vulling sluis. Resultaten proef V2B013
Figuur 86	Vulling sluis. Resultaten proef V2B014
Figuur 87	Vulling sluis. Resultaten proef V2B015
Figuur 88	Vulling sluis. Resultaten proef V2B016
Figuur 89	Vulling sluis. Resultaten proef V2B017
Figuur 90	Vulling sluis. Resultaten proef V2B018
Figuur 91	Vulling sluis. Resultaten proef V2B019
Figuur 92	Vulling sluis. Resultaten proef V2B020
Figuur 93	Vulling sluis. Resultaten proef V2B021
Figuur 94	Vulling sluis. Resultaten proef V2B022
Figuur 95	Vulling sluis. Resultaten proef V2B023
Figuur 96	Vulling sluis. Resultaten proef V2B024
Figuur 97	Vulling sluis. Resultaten proef V2B025
Figuur 98	Vulling sluis. Resultaten proef V2B026
Figuur 99	Vulling sluis. Resultaten proef V2B027
Figuur 100	Vulling sluis. Resultaten proef V2B028
Figuur 101	Vulling sluis. Resultaten proef V2B029
Figuur 102	Vulling sluis. Resultaten proef V2B030
Figuur 103	Vulling sluis. Resultaten proef V2B031
Figuur 104	Vulling sluis. Resultaten proef V2B032
Figuur 105	Vulling sluis. Resultaten proef V2B033
Figuur 106	Vulling sluis. Resultaten proef V2B034
Figuur 107	Vulling sluis. Resultaten proef V2B035
Figuur 108	Vulling sluis. Resultaten proef V2B036
Figuur 109	Vulling sluis. Resultaten proef V2B037
Figuur 110	Vulling sluis. Resultaten proef V2B038
Figuur 111	Vulling sluis. Resultaten proef V2B039
Figuur 112	Vulling sluis. Resultaten proef V2B040
Figuur 113	Vulling sluis. Resultaten proef V2B041
Figuur 114	Vulling sluis. Resultaten proef V2B042
Figuur 115	Vulling sluis. Resultaten proef V2B043
Figuur 116	Vulling sluis. Resultaten proef V2B044
Figuur 117	Vulling sluis. Resultaten proef V2B045
Figuur 118	Vulling sluis. Resultaten proef V2B046
Figuur 119	Vulling sluis. Resultaten proef V2B047
Figuur 120	Vulling sluis. Resultaten proef V2B048
Figuur 121	Vulling sluis. Resultaten proef V2B049
Figuur 122	Vulling sluis. Resultaten proef V2B050
Figuur 123	Vulling sluis. Resultaten proef V2B051
Figuur 124	Vulling sluis. Resultaten proef V2B052
Figuur 125	Vulling sluis. Resultaten proef V2B053
Figuur 126	Vulling sluis. Resultaten proef V2B054
Figuur 127	Vulling sluis. Resultaten proef V2B055

Figuur 128	Vulling sluis. Resultaten proef V2B056
Figuur 129	Vulling sluis. Resultaten proef V2B057
Figuur 130	Vulling sluis. Resultaten proef V2B058
Figuur 131	Vulling sluis. Resultaten proef V2B059
Figuur 132	Vulling sluis. Resultaten proef V2B060
Figuur 133	Vulling sluis. Resultaten proef V2B061
Figuur 134	Vulling sluis. Resultaten proef V2B062
Figuur 135	Vulling sluis. Resultaten proef V2B063
Figuur 136	Vulling sluis. Resultaten proef V2B064
Figuur 137	Vulling sluis. Resultaten proef V2B065
Figuur 138	Vulling sluis. Resultaten proef V2B066
Figuur 139	Vulling sluis. Resultaten proef V2B067
Figuur 140	Vulling sluis. Resultaten proef V2B068
Figuur 141	Vulling sluis. Resultaten proef V2B069
Figuur 142	Vulling sluis. Resultaten proef V2B070
Figuur 143	Vulling sluis. Resultaten proef V2B071
Figuur 144	Vulling sluis. Resultaten proef V2B072
Figuur 145	Nieuw ontwerp vullingssysteem
Figuur 146	Schematisatie van numeriek model

0 SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft het onderzoek dat werd uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium voor het ontwerpen van geschikte openingswetten voor het vullen en ledigen van de nieuwe sluiskolk te Evergem.

In hoofdstuk 1 en 2 worden de uitgangspunten van het onderzoek uiteengezet op basis van de beschikbare kennis bij de start.

Het vulsysteem van de sluis zal bestaan uit vlinderkleppen in de deuren zelf.

In hoofdstuk 3 volgt een deskstudie voor het benodigd maximaal aantal vlinderkleppen in de sluisdeuren.

In hoofdstuk 4 wordt een beschrijving van het schaalmodel gegeven.

In hoofdstuk 5 wordt een literatuurstudie uitgevoerd naar de troskrachtcriteria waaraan de openingswetten getoetst worden.

In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de experimenten in het fysisch model geanalyseerd.

In hoofdstuk 7 worden de besluiten van dit onderzoeksprogramma neergeschreven: vlinderkleppen worden als een minder goed vulsysteem beschouwd, daarom wordt het ontwerp aangepast naar ronde kokers in de sluisdeuren, afgesloten door hefschuiven. Deze schuiven dienen geopend te worden via een continu verloopende openingswet. De definitieve openingswetten zullen tenslotte bepaald worden in overleg met de Bouwdienst van Rijkswaterstaat in Utrecht welke zijn medewerking heeft toegezegd. De totale vulling van de sluiskolk zal mogelijk zijn in 5 minuten.

In de bijlage A wordt tenslotte aangegeven hoe het bepalen van dergelijke openingswetten kan gebeuren via een 1D numeriek model.

1 INLEIDING

In de startnota van het project 'Tweede sluis te Evergem' goedgekeurd door het college van afdelingshoofden op 26 januari 1998, wordt voorzien in de uitvoering van acht noodzakelijke studies ter ondersteuning van het ontwerp van de nieuwe sluis. De vijfde studie in deze reeks heeft tot doel de invloed te onderzoeken op de schepen ten gevolge van het vullen en ledigen van de sluiskolk.

Een liggingsplan van de sluis te Evergem nabij Gent wordt gegeven in figuur 1. Op de situatieschets in figuur 2 wordt de inplanting van de nieuwe sluis t.o.v. de bestaande sluis weergegeven.

Concreet wordt gezocht naar een antwoord op volgende vragen:

- Hoe verlopen de vul- en ledigingswetten voor een sluiskolk van 200m lang, 24m breed, toegankelijk voor twee scheepskonvoeien CEMT klasse Vb (duwkonvoeien van 4.400 ton) bij een normaal peilverschil van 1,16m en een extreem peilverschil van 3,05m.
- Hoeveel vlinderkleppen van 1,00 diameter zijn nodig in de puntdeuren om deze vul- en ledigingswetten te realiseren.
- Hoe verlopen de dynamische krachten op de scheepskonvoeien bij de vul- en ledigingswetten die beantwoorden aan de troskrachtcriteria.

Naar analogie van de duwvaartsluizen op het Albertkanaal wordt in de startnota gestreefd naar een vultijd van 10 minuten bij het normaal peilverschil en een vultijd van 16 minuten bij de uitzonderlijke omstandigheden. Hiervoor is het nodig de puntdeuren uit te rusten met drie vlinderkleppen.

2 ONDERZOEKSPPLAN

Door het Waterbouwkundig Laboratorium wordt in februari 1998 een onderzoeksplan uitgewerkt op basis van de gegevens in de startnota. Dit onderzoeksplan wordt goedgekeurd door de afdeling Bovenschelde in april 1998. Het omvat volgende uitgangspunten voor het onderzoeksprogramma:

- Er wordt een zo natuurgetrouw mogelijk hydraulisch schaalmodel gebouwd van de sluisolk en het opwaarts en afwaarts pand met een schaal 25.
 - Omdat de duwvaartsluizen op het Albertkanaal een veel hoger peilverschil kennen van 5 à 10m, wordt ervan uitgegaan dat de deuren van de sluis te Evergem worden ontworpen voor meer dan 3 vlinderkleppen per deur. Een hydraulisch voorontwerp op basis van literatuurgegevens zal uitmaken hoeveel vlinderkleppen maximaal aangewezen zijn. Overleg met AOSO zal definitief vastleggen wat mechanisch maximaal haalbaar is gedurende de uitvoering van het onderzoek. Deuren en vlinderkleppen worden eveneens zo natuurgetrouw mogelijk nagebouwd in het schaalmodel, inclusief het aandrijfmechanisme.
 - De volgende combinaties van aangemeerde schepen in de sluisolk worden onderzocht:
 - 2 duwvaartkonvoien klasse Vb (i.e. 2 duwbakken en één duwboot)
 - 1 duwvaartkonvoi klasse Vb
 - 1 duwvaartkonvoi klasse Vb en 1 schip klasse IV
- Al deze schepen worden eveneens natuurgetrouw nagebouwd voor het schaalmodel.
- Van alle bovenvermelde aanmeercombinaties worden volgende gegevens geregistreerd op elk tijdstip tijdens vullen en ledigen van de sluisolk:
 - Peilvariaties in de sluisolk aan het opwaarts en afwaarts sluishoofd.
 - Horizontale langskracht, horizontale dwarskracht en horizontaal koppel.
 - Opening van de vlinderkleppen.

3 VOORONTWERP BENODIGD AANTAL VLINDERKLEPPEN.

Het debiet door de vlinderkleppen op een bepaald tijdstip van vulling of lediging van de sluiskolk is afhankelijk van het ogenblikkelijk peilverschil over de sluisdeur, de opening van de vlinderkleppen en het drukverlies overeenstemmend met deze opening. Dit drukverlies wordt als volgt geformuleerd:

$$\Sigma \Delta F = \xi_{\text{in}} \frac{U_1^2}{2g} + \xi_{\text{klep}} \frac{U_2^2}{2g} + \xi_{\text{uit}} \frac{U_3^2}{2g} \quad (1)$$

Met	$\Sigma \Delta F$	som der drukverliezen (in waterkolom)
	ξ_{in}	verliescoëfficiënt voor intrede van de stroming (dimensieloos) .
	ξ_{klep}	verliescoëfficiënt van de vlinderklep is functie van de stand van de vlinder (dimensieloos).
	ξ_{uit}	verliescoëfficiënt voor uittrede van de stroming (dimensieloos).
	U_1	gemiddelde stroomsnelheid in de intrede van de buis waarin de vlinderklep ingebouwd is (in m/s).
	U_2	gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de vlinder, alsof de vlinder niet aanwezig is (in m/s).
	U_3	gemiddelde stroomsnelheid in de uittrede van de buis waarin de vlinderklep ingebouwd is (in m/s).
	g	9,81 m/s ²

Het debiet door de vlinderklep wordt gegeven door ($U_1 = U_2 = U_3$):

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\xi_{\text{in}} + \xi_{\text{klep}} + \xi_{\text{uit}}}} A \sqrt{2g\Delta H} = \theta A \sqrt{2g\Delta H} \quad (2)$$

Q ogenblikkelijk debiet in m³/s

A	volledige opening van de buis waarin de vlinderklep is ingebouwd (in m ²)
ΔH	ogenblikkelijk peilverschil over de sluisdeur waarin de vlinderkleppen zijn ingebouwd (in m).
θ	algemene debietscoëfficiënt (dimensieloos)

Gegevens over de verliescoëfficiënten kunnen gevonden worden in de literatuur. Wij krijgen zo (cf. [8])

ξ_{in}	= 0,03	(intrede van de buis waarin de vlinderklep is ingebouwd wordt voorzien van een trompet waardoor de stromingsweerstand minimaal is)
ξ_{uit}	= 1,0	(theoretische waarde)
ξ_{klep}	=	op te geven door de fabrikant, in [8] kunnen wel volgende waarden gevonden worden

$\alpha(\text{rad})$	ξ_{klep}	θ
0	∞	0,000
0,349 (=20°)	751	0,036
0,436	256	0,062
0,524	118	0,092
0,611	58,8	0,129
0,698	32,6	0,172
0,785	18,7	0,225
0,873	10,8	0,291
0,960	6,22	0,371
1,047	3,91	0,450
1,134	2,51	0,531
1,222	1,54	0,624
1,309	0,90	0,720
1,396	0,52	0,803
1,484 (=85°)	0,24	0,887

Dimensieloze verliescoëfficiënt ξ_{klep} , naar [8]

In de (vereenvoudigde) veronderstelling dat de vlinderkleppen ogenblikkelijk (tijdsinterval is 0,0 s) geopend worden, wordt de totale vultijd van de sluis gegeven door [9]

$$T_{\text{vol}} = \frac{2 S \sqrt{H}}{\theta \Omega \sqrt{2g}} \quad (3)$$

met :	S	oppervlakte van de sluiskolk (in m ²).
	H	peilverschil over de sluis (in m).
	Ω	opening van het vulsysteem in m ² .
	T _{vol}	totale vultijd van de sluiskolk (in s).

Vermits de afmetingen van de tweede sluis te Evergem gelijk zijn aan de duwvaartsluizen op het Albertkanaal, kan, in de hypothese dat de opening en de debietscoëfficiënt van de vulsystemen eveneens vrij analoog zijn, volgende benadering gemaakt worden voor de vultijd van de tweede sluis te Evergem:

$$T_{\text{vol, Evergem}} = T_{\text{vol, Albertkanaal}} \frac{\sqrt{H_{\text{Evergem}}}}{\sqrt{H_{\text{Albertkanaal}}}} \quad (4)$$

met $T_{\text{vol, Albertkanaal}} = 600$ seconden

$H_{\text{Evergem}} = 1,16$ m

$H_{\text{Albertkanaal}} = 10,00$ m

geeft dit: $T_{\text{vol, Evergem}} = 204 \text{ à } 245$ seconden

Dit kan beschouwd worden als een uiterste minimale vultijd vanwege de veronderstelling van een ogenblikkelijke opening van de vlinderkleppen en vanwege het feit dat de sluisen op het Albertkanaal een voeding hebben met langsriolen die de vulstralen verdelen over de lengte van de sluis hetgeen kleinere dynamische krachten op de schepen tot gevolg heeft.

We krijgen zo voor de benodigde maximale opening voor de sluis te Evergem:

$$\Omega = \frac{2.24.200 \cdot \sqrt{1,16}}{0,887 \cdot \sqrt{2.981.204}} = 12,9 \text{ m}^2$$

Voor een vlinderklep met 1,25 m diameter (i.e. 1,227 m² opening) betekent dit dat het vulsysteem dient te bestaan uit 10 vlinderkleppen in totaal, of 5 vlinderkleppen per deur.

Na overleg met de Administratie Ondersteunende Studies en Opdrachten bleek dit een mechanisch haalbare kaart. Er werd daarom beslist om in het hydraulisch schaalmodel de puntdeuren van de sluis in te bouwen uitgerust met elk vijf vlinderkleppen.

4 EIGENSCHAPPEN VAN HET SCHAALMODEL

Vanwege de vrije oppervlaktestroming en het gebruik van schepen en vlinderkleppen is het noodzakelijk een schaalmodel te gebruiken zonder distorsie dat beantwoordt aan de Froude wetten. Dit betekent dat volgende schaalregels van toepassing zijn:

Lengteschaal :	$\alpha_L = 25$
Debietsschaal	$\alpha_Q = \alpha_v \cdot \alpha_L^2 = 3125$
Krachtschaal	$\alpha_F = \alpha_L^3 = 15625$
Tijdsschaal	$\alpha_T = \alpha_L \cdot \alpha_v^{-1} = 5$
Snelheidsschaal	$\alpha_v = \sqrt{\alpha_L} = 5$

De lengteschaal is voldoende groot gekozen opdat de wrijvingsweerstand tegen stromen in het schaalmodel onafhankelijk blijft van de viscositeit van het water (stroming in het model volkomen turbulent zoals in de natuur).

Tenslotte worden verschillen in ruwheid van sluiswanden en scheepshuiden tussen schaalmodel en natuur verwaarloosd.

4.1 Ruwbouw van het schaalmodel

In de figuren 3 tot 5 worden schetsen gegeven van de ruwbouw van het schaalmodel.

Er is gezorgd dat de aanstroming naar de deuren zo goed mogelijk werd nagebootst door het inbouwen van de kaaimuren van de toegangsgeulen in het opwaarts en afwaarts pand, zoniet zou dit het debiet door de kleppen nadelig beïnvloeden.

Omdat het debiet tussen opwaarts of afwaarts pand en de sluiskolk variabel is in de tijd, kan dit in het schaalmodel voor gevolg hebben dat het waterpeil niet constant blijft in de voedingspanden. In werkelijkheid treedt dit niet op vermits het kanaal waarin de sluiskolk gebouwd wordt praktisch oneindig groot is ten opzichte van de sluiskolk. In het schaalmodel wordt hieraan verholpen door in de voedingspanden een debiet te geven veel groter dan het debiet mogelijk door de vlinderkleppen. Dit debiet vloeit weg over de overlaten (figuur 4), die zo geconstrueerd worden dat ze een grote overstortlengte bezitten. De variatie van het waterpeil in de voedingspanden bij veranderend debiet door de kleppen is hierdoor te verwaarlozen.

4.2 Elektromechanisch gedeelte van het schaalmodel

Op basis van het voorontwerp worden de sluisdeuren voorzien van 5 vlinderkleppen per deur. Een volautomatische elektromotor aandrijving met aangepaste sturingssoftware wordt eveneens ontworpen. Dit laat een sturing toe in stappen van 0,1 seconde of 0,5 seconde natuur. Het geheel wordt weergegeven in figuren 6 tot 8.

Belangrijk bij het ontwerp van de sluisdeuren voor het schaalmodel is dat de dimensieloze verliescoëfficiënt ξ_{klep} van de vlinderkleppen gelijk is zowel voor het schaalmodel als voor de werkelijke vlinderkleppen. Zoniet wordt er geen dynamische gelijkvormigheid bekomen voor de stroming in het schaalmodel.

Als vlinderkleppen voor het schaalmodel werd er gekozen om in de handel verkrijgbare types aan te schaffen die gebruikt worden in de procesindustrie (vlinderkleppen in leidingen onder druk). Er werd gekozen voor vlinderkleppen van het merk ECONOSTO (figuur 9). De stromingsweerstand van dergelijke kleppen wordt niet uitgedrukt via een dimensieloze verliescoëfficiënt, maar via een waarde K_v , welke het debiet is in m³/h voor een drukverlies van 1 bar (figuur 10). Het verband tussen beide waarden is makkelijk terug te vinden via omrekening en wordt gegeven door:

$$\xi_{\text{klep}} = 16 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{D^4}{K_v^2} \quad (5)$$

Met D diameter van de vlinderklep (in mm).

K_v verliescoëfficiënt als functie openingshoek (in m³/h).

Om na te gaan of dynamische gelijkvormigheid wordt bereikt tussen schaalmodel en werkelijkheid wordt in onderstaande tabel een vergelijking gemaakt van θ voor de vlinderklep DN50, welke gebruikt wordt in het schaalmodel, en de vlinderklep DN 1200 welke bijna de werkelijkheid benadert (i.e. een vlinderklep van 1.250 mm).

α (rad)	K_v (DN50)	K_v (DN1200)	θ (DN50)	θ (DN1200)
0,175	1,3	947	0,013	0,016
0,349	3,8	3552	0,038	0,062
0,524	10	7912	0,099	0,136
0,698	22	13.846	0,215	0,234
0,873	98	21.586	0,355	0,350
1,047	58	23.486	0,500	0,512
1,222	98	56.460	0,695	0,695
1,396	128	88.288	0,781	0,829
1,571	189	103.785	0,874	0,865

Vergelijking debietscoëfficiënt tussen vlinderklep schaalmodel en vlinderklep natuur.

We stellen vast dat de verschillen heel beperkt zijn, behalve voor openingshoeken tot 30°. Standen van de vlinderklep met dergelijke openingshoek komen slechts kortstondig voor in de totale openingswet voor de vlinderkleppen, zodat de effecten van deze verschillen te verwaarlozen zijn.

Men kan dus besluiten dat dynamische gelijkvormigheid bestaat tussen het schaalmodel en de werkelijkheid.

4.3 Schaalmodellen van de scheepskonvoien

Zowel ten behoeve van het onderzoek naar de vul- en openingswet als het onderzoek naar de invloed op de scheepsbewegingen bij het binnenvaren van de sluisolk (model 572/3), werden in totaal 3 scheepskonvoien van CEMT klasse Vb op schaal 25 zo getrouw mogelijk nagebouwd.

Twee van deze konvoien werden gebruikt voor dit onderzoek en werden daarom niet voorzien van een propulsiesysteem omdat dit van geen invloed is op de krachten die op het schip optreden tijdens het vul- en ledigingsproces.

Een duwkonvooi CEMT klasse Vb bestaat uit 1 duwer en 2 duwbakken (figuur 11). De diepgang van dergelijk duwkonvooi varieert van 2,50 tot 4,50m. Rekening houdend met de mogelijke diepgang op de aansluitende kanalen, werd er voor gekozen om het duwkonvooi te ballasten tot 3,80m diepgang. Hiervoor was het nodig alle onderdelen van het duwkonvooi te ballasten tot volgend gewicht:

Gewicht duwer 1 model:	29,12 kg	
Gewicht duwbak 1 model:	190,99 kg	
Gewicht duwbak 2 model:	196,71 kg	
Gewicht totaal duwkonvooi model:	426,06 kg	(waarde in het schaalmodel)
Gewicht totaal duwkonvooi natuur:	6657,00 ton	(waarde in werkelijkheid)

4.4 Totale opstelling van het schaalmodel

In de figuren 12 tot 14 wordt een overzicht gegeven van het volledige schaalmodel, inclusief de scheepskonvoien en de meetopstelling voor registratie van krachten op het schip, verticale verplaatsingen van het schip en waterpeilen.

De krachtenmeteropstelling (figuur 14) is zo opgevat dat de langskrachtenmeter de langskomponente van alle hydrodynamische krachten door het water uitgeoefend op het schip registreert, terwijl de twee dwarskrachtmeters de dwarscomponenten en het moment registreert. Hierbij wordt het konvooi quasi horizontaal (zowel langs als dwars) vast op zijn plaats gehouden, terwijl het in de verticale zin volledige bewegingsvrijheid heeft.

Ook het rollen van het schip kan vrij gebeuren. Wrijving van de wanden van het konvooi met de wanden van de sluiskolk wordt vermeden.

5 LEIDRAAD BIJ HET ONDERZOEK: TROSKRACHTCRITERIA

5.1 Definitie

Het ontwerpen van vul- en ledigingssystemen voor sluizen op waterwegen is gebaseerd op de hydrodynamische krachten uitgeoefend op het schip in de sluisolk tijdens het nivelleren. Voor sluizen met een voeding door de deuren is de kracht volgens de langsas van het schip het grootst en zal deze kracht getoetst worden aan een "troskrachtcriterium". Dit wil zeggen dat deze kracht gemeten op een schip dat horizontaal (zowel langs als dwars) vastgehouden wordt, maar volledige bewegingsvrijheid heeft in de verticale zin, niet groter mag zijn dan een bepaald percentage van het gewicht van het schip inclusief de lading. Dit criterium betreft dus duidelijk niet de krachten die in de afzonderlijke afmeertrossen optreden

5.2 Vroegere criteria

In het verleden werd dit criterium pragmatisch vastgesteld op 1,00‰ zonder verdere onderbouwing, zowel in Nederland als in Vlaanderen (zie literatuur [2], [3], [4], [5]). Voor duwvaart kon ook een criterium van 0,5‰ teruggevonden worden, met de zorg om het aantal wisselingen van de richtingszin van de kracht zoveel mogelijk te beperken.

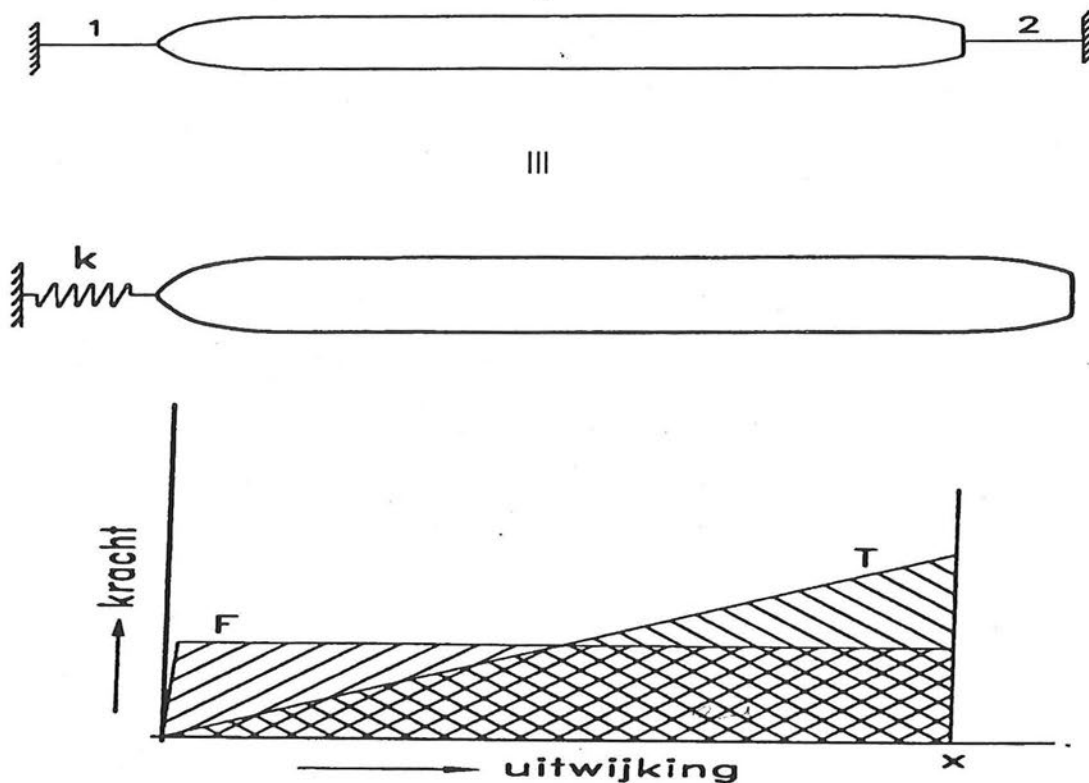
5.3 Nieuwe criteria

In de eerste helft van de negentiger jaren werden door het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat, meerdere onderzoeken uitgevoerd met het doel nieuwe troskrachtcriteria te ontwikkelen. Deze onderzoeken concentreerden zich op volgende onderwerpen:

- berekenen van krachten in de afmeertrossen bij gegeven langskrachten en verticale verplaatsingen van het schip;
- een overzicht van in de praktijk gebruikte trosmaterialen en afmetingen;
- vaststellen van de huidige wijze van afmeren in relatie met het type tros en de trosbediening;
- bepalen van de troskrachtcriteria bij een gegeven procedure van afmeren en trosbediening.

5.4 Het volgende kon afgeleid worden:

- In de binnenvaart wordt het meest gebruik gemaakt van kunststoftrossen; stalen trossen komen vooral voor bij duweenheden en grotere schepen. De theoretische breukkrachten liggen tussen 80 en 200 kN. In de praktijk ligt de werkelijke breukkracht 45 % lager. Bovendien stijgt de sterkte niet evenredig met de scheepsklasse. Stalen trossen zijn zwaarder dan kunststof trossen, hebben een veel kleinere rek (factor 10) en zijn daardoor veel stugger te hanteren. Beide soorten hebben een niet-lineair elastisch kracht/rekdiagram.
- Er wordt een grote variatie in procedures geconstateerd voor het afmeren van de schepen en het bedienen van de trossen. De traditionele procedure, met een voor- en achterspring die steeds bijgesteld worden zonder gebruik van de schroef, is de meest betrouwbare omdat ze tot de minste horizontale bewegingen leidt en geen hinderlijk schroefwater oplevert. Alternatieve procedures leiden vaak tot grote horizontale verplaatsingen van het schip en/of veel schroefwater en worden meestal toegepast bij kunststoftrossen.
- De troskrachtcriteria werden afgeleid uit een reeks analytische beschouwingen van het schip met zijn afmeersysteem. Hierbij werd gewerkt met een “vergrotingsfactor” die wordt gedefinieerd als het quotiënt van de maximale troskracht en de maximale langskracht op het schip. In de meest eenvoudige schematische voorstelling van een afgemeerd schip in onderstaande figuur kan men dit beschouwen als een ongedempt éénmassa veersysteem waarop een plotseling aangrijpende uitwendige kracht optreedt.



Schip met centrish gespannen trossen (uit [1])

De geleverde arbeid geeft: $Fx = 0,5 k x^2$
 $T = kx$
 en dus $T = 2F$ of $V = 2$

met : F uitwendige kracht volgens langsas schip
 k veerstijfheid
 x uitwijking
 T maximale troskracht
 V vergrotingsfactor

We stellen dus duidelijk vast dat de maximale troskracht beduidend groter is dan de optredende hydrodynamische langskracht.

Deze vergrotingsfactor zal natuurlijk wijzigen naargelang de afmeerprocedure en de bediening van de trossen en wordt beïnvloed door vele parameters. Heel wat parameters veroorzaken een toename van de vergrotingsfactor:

- Snelle opbouw of wisseling van de langskracht.
- Niet-lineair elastisch gedrag van de tros.
- Loos in de trossen bij weinig voorspanning (zeer belangrijk!).
- Lage stijfheid van de trossen.
- Grotere scheepsmassa.
- Kleinere waterdemping.
- Een harmonische belasting indien de frequentie van de belasting in de buurt ligt van de eigenfrequentie van het systeem.
- De hoek die de trossen maken met de horizontaal en met de langsrichting van de sluis.

Volgende vergrotingsfactoren konden gedestilleerd worden:

drijvende bolders: $V = 3$
 vaste haalkommen bij ledigen: $V = 3$
 vaste haalkommen bij vullen: $V = 4$

Door nu de gemiddelde theoretische breukkracht min eenmaal de standaardafwijking te nemen behorend bij een bepaalde scheepsmassa, deze te delen door de vergrotingsfactor V en K te vermenigvuldigen met de reductiefactor 0,55, bekomt men zo het troskrachtcriterium voor deze scheepsmassa:

Scheepsklasse	Troskracht criterium (‰ van totale waterverplaatsing)	
	bij vullen	bij ledigen en vullen met drijvende bolders.
CEMT klasse IV (Rijn-Hernekanaalschip)	1,10	1,50
CEMT klasse Va (Groot Rijnschip)	0,85	1,15

Troskrachtcriteria voor de belangrijkste CEMT klassen (uit [1])

5.5 BESLUIT

Bovenstaande nieuwe criteria maken aanzienlijke tijdswinst mogelijk voor de kleinere schepen, vooral bij het vullen. Voor de grotere schepen blijkt het nieuwe criterium ongeveer even zwaar als het oude van 1‰.

Voor de bepaling van de vergrotingsfactor werd een wijze van trosbediening ingevoerd die is gebaseerd op veelvuldige observaties op verschillende sluizen in Nederland uitgevoerd in 1983.

Met een correcte trosbediening vormen deze vergrotingsfactoren een goede weergave van de werkelijkheid die slechts zelden tot trosbreuk zullen leiden. Het is aannemelijk dat in Vlaanderen gelijkaardige trossen worden gehanteerd alsook een gelijkaardige trosbediening. Daarom wordt voorgesteld om dezelfde criteria als in Nederland te gebruiken.

In bovenstaande tabel zijn geen criteria opgenomen voor CEMT klasse Vb (3200-6000 ton), waarvoor de nieuwe sluis Evergem ontworpen wordt. Dat komt omdat de observaties van 1983 nog veel kleine schepen te zien gaven, situatie die nu zeker gewijzigd is. Men mag wel redelijkerwijze aannemen dat de gemiddelde breukkracht van de trossen voor deze scheepsklasse minstens 200 kN bedraagt.

In principe is verder onderzoek aangewezen naar criteria voor deze scheepsklasse, maar een telefonisch onderhoud met de Bouwdienst van Rijkswaterstaat heeft aangetoond dat voor vierbaksduwvaart (6400 – 12.000 Ton) een criterium van 0,6‰ gebruikt wordt voor vullen en 0,8‰ voor ledigen. Er wordt daarom voorgesteld om voor klasse Vb $\pm$ het gemiddelde te nemen van het criterium voor klasse Va en laatstgenoemd criterium. Dit komt neer op 0,75‰ voor vullen en 1,00‰ voor ledigen.

6 BESPREKING PROEVEN

6.1 Registratie en verwerking meetgegevens

Dankzij het sturingsprogramma kunnen alle meetinstrumenten aangeduid in figuur 12 en alle elektrische machines voor bediening van het schaalmodel in discrete stappen van 0,1 seconde aangestuurd worden.

Alle gestuurde en gemeten elektrische signalen worden, na omrekening, in het programma, weggeschreven in een bestand in natuurwaarden. Voor deze interne omrekening wordt eerst een uitvoerige calibratie van de meetinstrumenten uitgevoerd zodat de juiste parameters kunnen ingebracht worden in het interne omrekeningsprogramma.

Tijdens de calibratiefase van het onderzoek konden volgende vaststellingen gedaan worden:

- Van de 3 combinaties van afgemeerde schepen in de sluiskolk die zouden onderzocht worden volgens § 2, bleek de combinatie met twee duwvaartkonvooien klasse Vb voor alle dynamische krachten de nadeligste situatie te zijn. De gemeten krachten op beide konvooien wijken nauwelijks van elkaar af.
- De horizontale dwarskracht en het horizontaal koppel op de schepen zijn te verwaarlozen en worden daarom niet als criterium aangehouden.
- Na controle op de debietscoëfficiënt van de vlinderkleppen, bepaald in § 4.2 op basis van de gegevens van de fabrikant van de vlinderkleppen, bleek het noodzakelijk deze waarden aan te passen. De nieuwe resultaten zijn:

$\alpha(\text{rad})$	θ_{berekend}	θ_{gemeten}
0,175	0,013	0,014
0,349	0,038	0,032
0,524	0,099	0,073
0,698	0,215	0,103
0,873	0,355	0,174
1,047	0,500	0,242
1,222	0,695	0,353
1,396	0,781	0,556
1,571	0,874	0,735

Aanpassing debietscoëfficiënt volgens metingen

Op basis van bovenstaande vaststellingen worden de meetresultaten verwerkt voor alleen de combinatie van twee duwkonvooien klasse Vb en met alleen de krachten gemeten op het stel duwer1-duwbak1-duwbak2 (figuur 12).

De analyse van de meetresultaten gebeurt op basis van 3 grafieken, voor elke proef weergegeven in figuur 15 tot 144, waarin respectievelijk het volgende wordt voorgesteld:

- het verloop van het gemiddeld waterpeil in meter TAW in de sluiskolk (= waterpeil van de waterstand volgens $\frac{W_1 + W_2}{2}$);
- het verloop van de opening van de kleppen in m² op basis van de potentiometers op de vlinderkleppen;
- het verloop van het debiet door de 10 vlinderkleppen berekend met $Q = \theta_{\text{gemeten}} \cdot A(10 \text{ vlinderkleppen}) \cdot \sqrt{2g\Delta H}$
 ΔH wordt hierbij respectievelijk bepaald, naargelang het een vul- of ledigingsproef betreft door:
 - 5,61 m TAW - waterpeil waterstandsvolger W₂
 - waterpeil waterstandsvolger W₁ - 4,45 m TAW
- het verloop van de verhouding van de horizontale longitudinale kracht op het schip ten opzichte van het totaalgewicht van het schip (6.657 ton) uitgedrukt in pro mille.

De proeven werden alleen uitgevoerd bij een normaal waterpeil in opwaarts en afwaarts pand.

De absolute fout in natuurwaarden op de metingen bedraagt:

- 0,5cm TAW op het waterpeil
- 0,05 % op de langskracht
- 0,2 m² op de opening van de vlinderkleppen
- 2,0 m³/s op het debiet door de vlinderkleppen

In totaal werden 130 proeven uitgevoerd voor de combinatie met twee duwkonvooien. Vullingsproeven worden gekenmerkt door een letter V in de naamgeving, ledigingsproeven door een letter L.

6.2 Analyse van de meetresultaten

De hoeksnelheid waarmee de vlinderkleppen konden geopend worden varieert tussen 0,02 en 0,05 rad/s. Hogere en lager snelheden waren niet mogelijk zonder ingrijpende wijzigingen aan de elektromotor koppeling. Deze snelheden werden gekozen op basis van de gehanteerde hoeksnelheden bij de nieuwe sluis te Menen op de Leie waar de vlinderkleppen worden geopend in vijf stappen van 6 seconden, onderbroken door pauzes van 6 seconden, met een constante hoeksnelheid van 0,05 rad/s.

Voor elke volgende proef werd getracht de maximaal optredende langskracht beneden het criterium van 0,75 % voor vullen en 1,00 % voor ledigen te houden, hierbij zorg dragen om het aantal wisselingen van de zin van het teken zoveel mogelijk te beperken.

Voor het opstellen van de openingswetten werd volgende strategie gevolgd:

- V - 2b - 001 tot V - 2b - 004
Opening in een continue beweging omdat dit de meest ideale sturing is voor de vlinderkleppen.
- V - 2b - 005 tot V - 2b - 022
Opening aan maximumsnelheid met één onderbreking van variërende duur en begintijdstip om de eerste (en altijd grootste) krachtpiek te verminderen, de eerste draaistap varieert hierbij van 10 seconden tot 20 seconden, terwijl de onderbreking varieert van 5 seconden tot 140 seconden.
- V - 2b - 023 tot V - 2b - 059
Opening in stappen van gelijke duur en gelijke onderbrekingen bij een constante snelheid; de stappen variëren hierbij van 5 tot 15 seconden en de onderbrekingen van 5 tot 20 seconden.
- V - 2b - 060 tot V - 2b - 0272
Er werd getracht om de vorige fase aan te passen door aan het begin van de openingswet een grotere hoeksnelheid in te stellen zodat de langskracht zich vlugger opbouwt, en eveneens aan het eind van de openingswet als de langskrachten al zeer laag zijn.
- L - 2b - 001 tot L - 2b - 025
Dit zijn dezelfde openingwetten als in V-2b-001 tot V-2B-025, maar voor het ledigen van de sluis.

BESPREKING

- Voor de continue opening is het zelfs bij de laagste draaisnelheid niet mogelijk om bij vullen onder het criterium van 0,75‰ te blijven; bij ledigen wordt het criterium van 1,00‰ net niet gehaald. Bij beide wisselt het teken van de langskracht minstens vijf keer, wat eigenlijk te veel is. Bij vullen is de tweede krachtpiek de grootste, bij ledigen is de eerste krachtpiek de grootste;

- De éénmalige onderbreking om de eerste twee krachtpieken te reduceren mist haar doel bij het vullen. Bij een heel korte of lange onderbreking zet de krachtopbouw zich toch door. Bij een tussenliggende tijdsduur voor de onderbreking is het wel mogelijk om de krachtpieken te verminderen, maar in nog onvoldoende mate. Het beste resultaat wordt bereikt in V-2b-013. In deze proef zien we ook dat de wisseling van het teken van de kracht beperkt blijft tot 1 à 2, wat een bijkomend voordeel is.

Voor het ledigen wordt het doel wel meerdere keren bereikt. Dit komt natuurlijk omdat reeds bij de continue opening van de vlinderkleppen het criterium maar nauwelijks overschreden werd. De beste resultaten zijn de proeven L-2b-012 en L-2b-016. Nadeel van deze succesvolle openingswetten is dat het succes ervan afhankelijk is van het tijdstip waarop de onderbreking begint en de duur ervan. Dit alles houdt verband met de configuratie van sluiskolkafmetingen en aanwezige schepen in de sluiskolk. Belangrijk hierbij is dat de sluiskolk in het schaalmodel kleinere afmetingen heeft dan ze in werkelijkheid zal gebouwd worden. Het is hierbij niet denkbeeldig dat deze succesvolle openingswetten niet meer gelden in werkelijkheid;

- Om onafhankelijk te zijn van het lukrake ogenblik in de openingswet waarbij één onderbreking in het opendraaien van de vlinderkleppen wordt voorzien, werd overgeschakeld naar het volledig getrapte openen van de vlinderkleppen. Dit leidt zowel voor vullen als ledigen tot meerdere succesvolle proeven. Uit proef V-2b-025 en L-2b-025 blijkt echter dat er door deze getrapte openingswetten een resonantieverschijnsel kan optreden met sterke en talrijke krachtwisselingen die in elk geval te vermijden zijn. Dit verschijnsel is uitsluitend afhankelijk van de configuratie van afgemeerde schepen in de sluiskolk (niet van de afmetingen van de sluiskolk). Voor het vullen van de sluis zijn de meest succesvolle proeven V-2b-024 en V-2b-059, voor het ledigen L-2b-023 en L-2b-024;
- De proeven van de laatste strategie slagen in hun opzet, namelijk het verminderen van de vultijd door aan het begin en einde van de openingswet de vlinderkleppen vlugger open te draaien, hoewel dit effect eerder beperkt is. De meest succesvolle proef hierin is V-2b-061;
- In de onderstaande tabel wordt voor de belangrijkste proeven de totale vul- of ledigingstijd gegeven. Daar in de figuur moeilijk af te lezen is wat de verschillende tijdstippen zijn van draaien en pauzeren in de openingswet, wordt in deze tabel eveneens de duur van de eerste stap, waarbij de vlinderkleppen worden opengedraaid, en de duur van de eerste onderbreking in het opendraaien vermeld.

	Vul- of ledigingstijd (sec)	Duur eerste draai- stap (sec)	Duur eerste onder- breking (sec)
V-2b-001 (criteria overschreden)	330	--	--
V-2b-013	330	15	60
V-2b-024	400	5	10
V-2b-025 (resonantie)	435	5	15
V-2b-059	475	5	20
V-2b-061	400	5	10
L-2b-001 (criteria overschreden)	330	--	--
L-2b-012	320	15	40
L-2b-016	365	15	135
L-2b-023	365	5	5
L-2b-024 (beperkte resonantie)	400	5	10
L-2b-025 (beperkte resonantie)	430	5	15

7 BESLUITEN EN AANBEVELINGEN

7.1 Besluiten voor het onderzoek in het hydraulisch model

Uit de proeven blijkt dat het mogelijk is openingswetten te ontwerpen waarbij de maximale langskracht beneden de toegelaten criteria blijft. De vultijd kan hierbij tot 5'30" beperkt worden en de ledigingstijd tot 5'20".

Gelet op de laagst mogelijke hoeksnelheid van 0,02 rad/s die in het schaalmodel mogelijk was, kon dit resultaat alleen bereikt worden door een discrete openingswet waarbij aanzienlijke pauzes werden ingelast bij het volledig opendraaien van de vlinderkleppen. Hierbij werd succes bereikt op twee manieren: ofwel een éénmalige onderbreking op een bepaald ogenblik ofwel een systematisch verdelen van de openingswet in gelijke intervallen van draaien en pauzeren. Het eerste heeft als nadeel dat ogenblik en duur van de onderbreking dienen gekozen te worden in functie van de configuratie en lading van de afgemeerde schepen, het tweede dat er kans bestaat op resonantie waarbij er veel wisselingen optreden in de zin van de langskracht, wat vanzelfsprekend te vermijden is.

Verder wordt de bijna exponentiële toename van de opening van de vlinderkleppen bij een lineaire hoeksnelheid als een belangrijk nadeel ervaren omdat het de opbouw van de eerste krachtspiek sterk vergemakkelijkt.

Uit de analyse van de proefresultaten blijkt dat het noodzakelijk is om een continue openingswet te ontwerpen met hoeksnelheden die variëren van 0,004 rad/s tot 0,02 rad/s wil men vermelde problemen vermijden.

7.2 Vervolg van het onderzoek met een numeriek model

Met het sturingsmechanisme van het schaalmodel was het niet mogelijk zulke lage hoeksnelheden te bereiken, tenzij het helemaal herbouwd werd. Er waren echter nog andere redenen om het onderzoek niet verder te zetten via aanpassingen in het schaalmodel.

Het literatuuronderzoek had tot gevolg dat er goede contacten waren met de Bouwdienst van Rijkswaterstaat, meer bepaald met Arie Vrijburcht, levenslang onderzoeker op het gebied van schepen in sluisen. Uit deze contacten bleek dat de Bouwdienst beschikt over een 1D numeriek model waarmee de verticale verplaatsingen van een schip in een sluiskolk, gevoed via de deuren, kunnen berekend worden, inclusief de langskrachten op het schip.

Op 2 augustus 1999 werd daarom met de Bouwdienst in Utrecht een bespreking gehouden over verdere numerieke ondersteuning. Uit deze bespreking konden volgende conclusies getrokken worden:

- Bovenstaande besluiten werden bevestigd door de praktijkervaring van de Bouwdienst Rijkswaterstaat: alleen via een continue openingswet is het mogelijk krachtspieken op het schip te vermijden. Met deze openingswet moet ernaar gestreefd worden een debietskromme te verkrijgen met een parabolisch verloop.
- Onderzoek voor een bijna identieke sluis in Nederland toont aan dat het inderdaad mogelijk moet zijn de tweede sluis te Evergem te vullen in ongeveer 5 minuten.
- Vlinderkleppen laten inderdaad geen goede regeling van de debietskromme toe. Veel beter zou zijn ronde kokers in de deuren te voorzien die worden afgesloten door hefschuiven. Aan het uiteinde van deze kokers worden breekbalken geplaatst om de stromingsjet zoveel mogelijk gelijkmatig te verspreiden over de breedte van de sluisolk.

In overleg met de Administratie Ondersteunende Studies en Opdrachten wordt er voor gekozen om rekening te houden met de aanwijzingen van de Bouwdienst Rijkswaterstaat. Er zal afgestapt worden van de vlinderkleppen als vullingssysteem en overgegaan worden op ronde kokers met hefschuiven.

Het nieuwe vullingssysteem zal een vorm aannemen zoals geschetst in figuur 145.

Voor het verdere hydraulisch onderzoek zal medewerking verleend worden door de Bouwdienst Rijkswaterstaat via het numeriek programma Lockfill.

7.3 Aanbevelingen

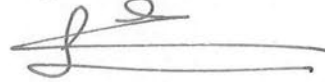
Het onderzoek uitgevoerd in het Waterbouwkundig Laboratorium van maart 1998 tot april 1999 heeft aangetoond dat een volledig fysisch model van het gehele systeem een tijd-rovende en dure operatie is als onderzoeksprocedure.

In de bijlage A wordt een procedure beschreven waarmee voor sluizen in homogeen zoete omstandigheden, de optredende langskrachten op een schip in een sluisolk, gevoed door een vullingssysteem via de deuren, bepaald kunnen worden via een 1D mathematisch model en slechts heel beperkt aanvullend fysisch modelonderzoek. Het volstaat immers in een vaste stroomgoot onderzoek uit te voeren naar de verliescoëfficiënt van het vullingssysteem in de deuren en naar de effecten van de jetwerking op de langskracht op het schip. Dit kan gebeuren onder permanent regime in deze stroomgoot, waarna de gemeten parameters kunnen ingebracht worden in het numeriek model.

Het numeriek model zelf kan ontwikkeld worden in samenwerking met de universiteiten.

Borgerhout, november 1999

De ingenieur belast met de studie,



Youri Meersschaut

Gezien,



Freddy Wens,
hoofd Waterbouwkundig Laboratorium

BIJLAGE A :

1D NUMERIEK MODEL TER BEPALING VAN LANGSKRACHTEN OP SCHEPEN GEDURENDE VULLEN OF LEDIGEN VAN EEN SLUIS (cfr.[10])

1. INLEIDING

In dit rapport van een onderzoek naar de vul- en ledigingswetten voor een sluiskolk waarvan de voeding verloopt uitsluitend door de deuren, werd gebruik gemaakt van een fysisch schaalmodel van zowel de volledige betonstructuur van het sluisencomplex, als van het elektromechanisch gedeelte als van de grootste schepen die in de sluiskolk kunnen afgemeerd worden.

Gedurende de experimenten op het schaalmodel konden dan de krachten op de schepen gemeten worden, zodat een vul- en ledigingswet kon opgesteld worden voor de sturing van het elektromechanisch gedeelte waarbij de optredende krachten beantwoorden aan de troskrachtcriteria.

Bouwen van een schaalmodel kost echter zeer veel middelen, mensen en tijd. Voor dit schaalmodel duurde het voor de bouw van alle onderdelen en de calibratie van de meettoestellen in totaal 10 maanden.

Door een aangepaste combinatie van numerieke modellering en fysische modellering is het echter mogelijk de volledige onderzoekstijd drastisch te beperken. Volgende tekst zal uitleggen hoe dit kan.

2. OPSTELLEN VAN HET NUMERIEK MODEL

De langskrachten op een schip in een sluiskolk worden voornamelijk beïnvloed door volgende hydraulische aspecten:

- a) translatiegolven, veroorzaakt door het niet permanente debiet, die weerkaatsen tegen de sluisdeuren en deels weerkaatsen vanwege de discontinuïteit in de doorstroomsectie door de aanwezige schepen;
- b) de afname van de stroomsnelheid naar de afwaartse deur;
- c) de wrijvingsweerstand van de scheepshuid;
- d) de vormweerstand van het schip;

- e) de vulstraalactie tegen de boeg van het schip;
- f) de lokale waterpeilverlaging ter plaatse van de vulstraalzone.

De aspecten a tot d spelen een rol bij het ledigen van de sluisolk, de aspecten e en f ook bij het vullen.

De aspecten a tot d kunnen vertaald worden in een 1D numeriek model gebaseerd op twee vergelijkingen voor de waterbeweging van een quasi horizontale stroming en twee vergelijkingen voor de beweging van de schepen. In deze 4 vergelijkingen zijn er 4 onbekenden:

- het debiet Q op een plaats x en tijd t
- de waterdiepte h op een plaats x en tijd t
- de verticale positie s van het zwaartepunt van het schip op tijd t
- de helling van het schip γ ten opzichte van de horizontale op tijd t .

uitgeschreven ter plaatse van een dwarsdoorsnede in de sluisolk waar zich het schip bevindt, geeft dit (figuur 146):

→ vergelijking voor het massabehoud:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t}(A_k - A_s) = 0$$

→ vergelijking voor het behoud van hoeveelheid van beweging:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A_k - A_s} \right) + g(A_k - A_s) \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2(A_k - A_s)R} = 0$$

→ verticaal evenwicht der krachten

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + g \frac{l_s b_s}{V_o} s = \frac{g b_s}{V_o} \int_{a_1}^{a_1+l_s} h \, dx$$

→ momentenevenwicht

$$\frac{d^2 \gamma}{dt^2} + g \frac{l_s b_s}{V_o} \gamma = \frac{12 g b_s}{V_o l_s^2} \int_{a_1}^{a_1+l_s} h(x - a_z) \, dx$$

Hierin stellen voor:

l_s	= lengte van het schip
b_s	= breedte van het schip
e_o	= diepgang van het schip bij stil water
e	= diepgang op een plaats x en een tijdstip t $= e_o + h - s - (x - a_z)\gamma$
A_s	= $b_s \cdot e$ = dwarssectie van het schip
a_1	= afstand opwaartse deur tot boeg van het schip
a_z	= afstand opwaartse deur tot zwaartepunt van het schip
V_o	= $b_s l_s e_o$ = volume van het schip
m	= ρV_o = massa van het schip
I	= $\frac{1}{12} \rho V_o l_s^2$ = massa traagheidsmoment van het schip
l_k	= lengte van de sluiskolk
b_k	= breedte van de sluiskolk
A_k	= $b_k \cdot h$ = dwarssectie van de sluiskolk
C	= Chezy coëfficiënt
R	= hydraulische straal
z_o	= waterpeil opwaarts pand
h_o	= waterpeil afwaarts pand
ρ	= dichtheid van het water

μ = debietscoëfficiënt (= θ in vergelijking (2)) op tijd t

A_d = opening van het vulsysteem op tijd t

Om deze vergelijkingen te kunnen oplossen zijn aan volgende voorwaarden te voldoen:

→ randvoorwaarden (voor elke tijd t)

$$x = 0 \quad Q = \mu A_d \sqrt{2g(z_o - h_o)}$$

$$x = l_k \quad Q = 0$$

→ begin voorwaarden (voor elke plaats x)

$$t = 0 \quad Q = 0 \quad ds/dt = 0$$

$$h = 0 \quad \gamma = 0$$

$$s = 0 \quad d\gamma/dt = 0$$

Na numerieke oplossing van deze vergelijkingen kan de langskracht op het schip gevonden worden uit volgende samenstellende delen (figuur 146):

→ hydrostatische druk op het scheepslichaam (sectie 2-3)

$$F_{s_1} = -\rho g b_s \gamma \left((e_o - s) l_s + \int_{a_1}^{a_1+l_s} h \, dx \right)$$

→ hydrostatische druk op de boeg (sectie 1-2)

$$F_{s_b} = \frac{1}{2} \rho g b_s e_b^2$$

$$\text{met } e_b = e_o + \frac{h_1 + h_2}{2} - s - \gamma \frac{1}{2} l_s$$

→ hydrostatische druk op het achterschip (sectie 3-4)

$$F_{s_h} = \frac{1}{2} \rho g b_s e_h^2$$

$$\text{met } e_h = e_o + \frac{h_3 + h_4}{2} - s + \gamma \frac{1}{2} l_s$$

→ wrijvingsweerstand (sectie 2-3)

$$F_{s_3} = c_f \cdot \frac{1}{2} \bar{u} |\bar{u}| (b_s + 2e)_s$$

met $\bar{u}$ = gemiddelde snelheid naast het schip

c_f = wrijvingscoëfficiënt

→ vormweerstand (sectie 1-2)

$$F_{s_4} = c_v \cdot \frac{1}{2} u_b |u_b| A_s$$

met u_b = snelheid naast de boeg

c_v = vormcoëfficiënt.

Het doel van het aanvullend fysisch model is om volgende zaken te bepalen:

- de langskrachten die veroorzaakt worden door de geconcentreerde vulstraal met volgende aspecten:
 - de vulstraalactie tegen de boeg van het schip
 - de lokale waterpeilverlaging ter plaatse van de vulstraalzone.
- De afvoercoëfficiënt van de vulopening.

Het hydraulisch model bestaat uit een stroomgoot, een sluisdeur met de juiste vorm van vulopening met afsluitsysteem en een schip met langskrachtenmeter.

Verscheidene permanente toestand situaties kunnen met dit model gecreëerd worden. Dit is veel eenvoudiger dan een volledig elektromechanisch en gestuurd sluisvullings-systeem.

De werkwijze om de totale langskrachten te bepalen is als volgt:

1. De afvoercoëfficiënt van de vulopening wordt bepaald voor verscheidene standen van het afsluitsysteem en waterstand combinaties van sluis en voorhaven.

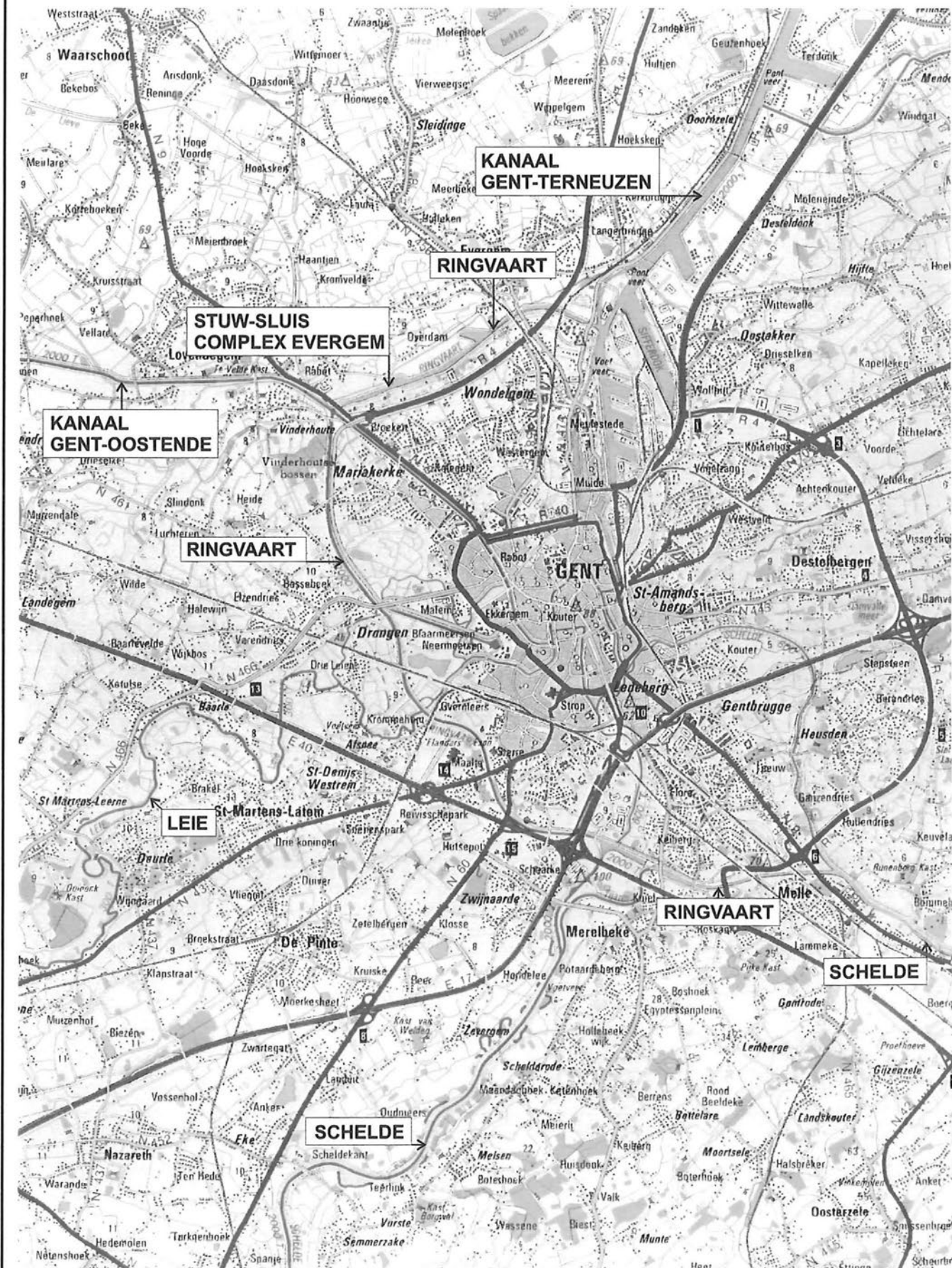
2. Deze afvoercoëfficiënt wordt gebruikt in het wiskundig model om met een bepaald programma van afsluiting de tijdsduur van de sluiskolk te bepalen.
3. In het hydraulisch model wordt de langskracht in permanente toestand gemeten op verschillende tijdstippen van het vulproces (i.e. 0,5 - 1 - 1,5 - 2, en verder per minuut na het begin van het vulproces). Op elk tijdstip bestaat er een zekere stand van het afsluitsysteem en het waterpeil in de sluiskolk, waarbij de gemeten langskracht bestaat uit volgende aspecten:
 - c. wrijvingsweerstand van schip en sluiswanden
 - d. vormweerstand van het schip
 - e. vulstroomactie tegen de boeg van het schip
 - f. de lokale waterpeilverlaging ter plaatse van de vulstraalzone.
4. De testen zoals beschreven in punt 3 worden opnieuw uitgevoerd in een uniforme stroming maar zonder vuldeur en afsluitsysteem. Bij de verschillende tijdstippen van waterniveau en debiet behoort een langskracht met aspecten c en d.
5. Door het aftrekken van de langskrachten bekomen onder punt 4 van de langskrachten bekomen onder punt 3 bekomt men de langskrachten met aspecten e en f: de geconcentreerde vulstraal
6. De langskracht bepaald onder punt 5 als resultaat van de geconcentreerde vulstraal wordt dan toegevoegd aan de langskrachten bepaald door het wiskundig model met aspecten a tot d (translatiegolven, snelheidsafname in de richting van de stroomafwaartse deur, wrijvings- en vormweerstand). Deze toevoeging geeft de totale langskracht op het schip met de aspecten a tot f.
7. Als de totale kracht te hoog is of indien er teveel wijzigingen zijn van de krachtszin, dan moet de openingswet aangepast worden en de volledige procedure hernomen.

Ook voor andere combinaties van waterpeil in de aansluitende panden, andere schepen en andere scheepsposities moet de procedure gedeeltelijk hernomen worden.

LITERATUURLIJST

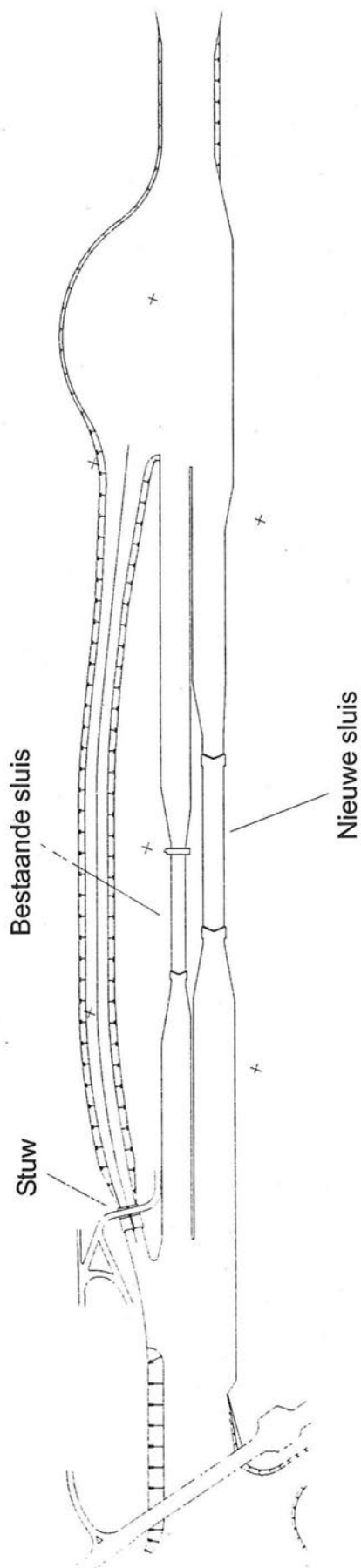
1. "Troskrachten van schutsluizen", Waterloopkundig Laboratorium Delft, 1994.
2. "Duwvaartsluizen" M838 deel I - V, Waterloopkundig Laboratorium Delft, 1964-1967.
3. "Zoutbestrijding Kreekraksluizen", M865 deel V, Waterloopkundig Laboratorium Delft, 1967-1970.
4. "Sluis te Merelbeke", model 193, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout, 1962.
5. "Sluis te Diepenbeek", model 260 deel I, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout, 1967-1968.
6. "Les écluses de navigation", N.M. Dehousse, Université de l'Etat à Liège, 1985.
7. "Forces on Ships in a Navigation Lock induced by stratified flows", A. Vrijburcht, Delft Hydraulics, 1991.
8. "Hydraulica 1 - Mechanica der Fluida stroming onder druk", cursus voor de 1° proef burgerlijk bouwkundig ingenieur, Prof. Dr. ir. R. Verhoeven.
9. "Waterbouwkundige Werken III - Sluizen", cursus voor de 3° proef burgerlijk bouwkundig ingenieur, Prof. Dr. ir. J. De Rouck, Academiejaar 1994-1995.
10. "Mathematical en hydraulic model investigation of longitudinal forces on ships in locks with door filling systems", publication N° 239, R.J. de Jong en A. Vrijer, oktober 1980.

SITUERING STUW- EN SLUISCOMPLEX TE EVERGEM





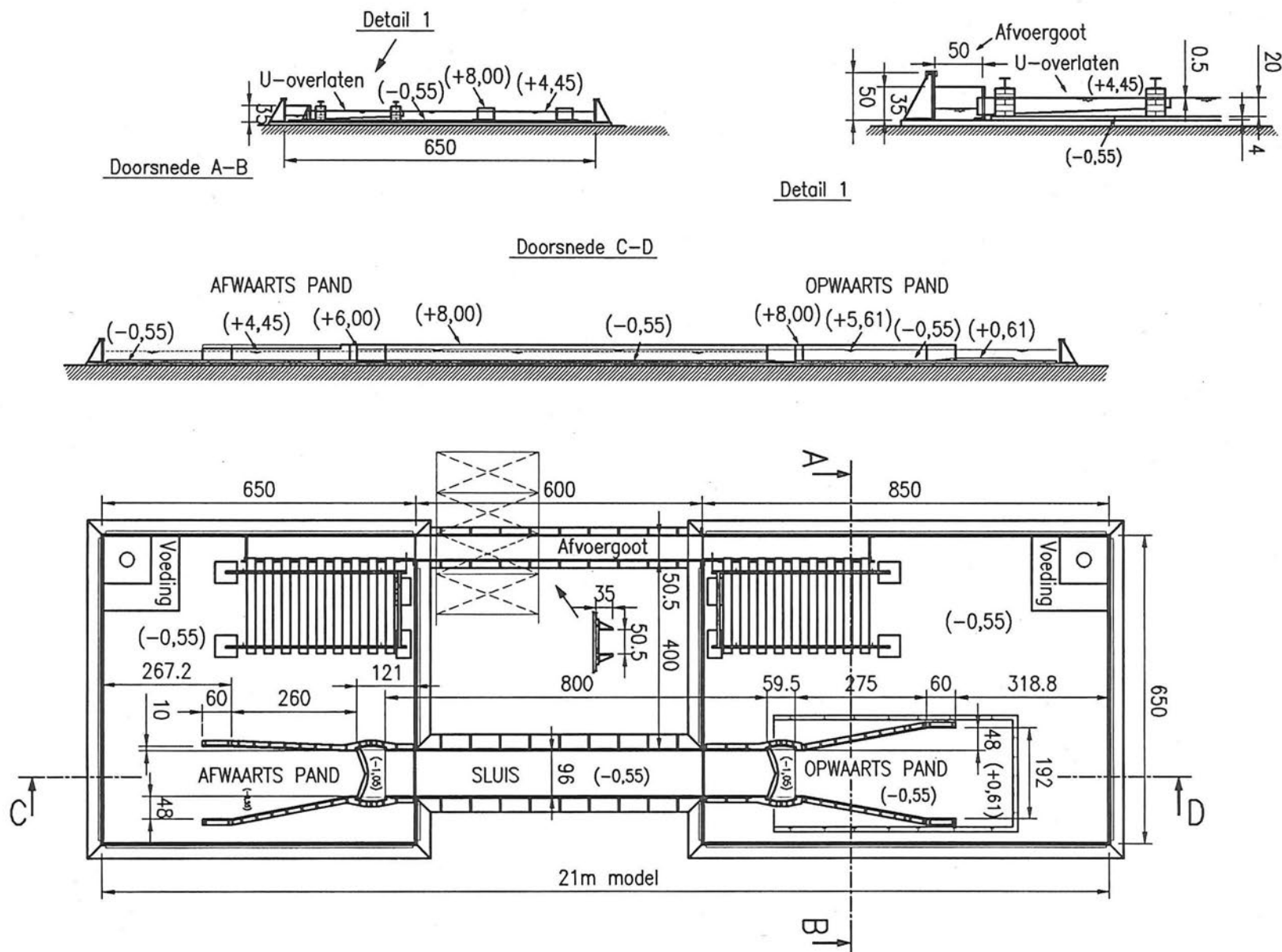
INPLANTING NIEUWE SLUIS TE EVERGEM

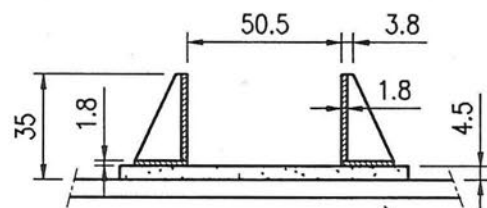




Maten : cm model
Cota's : m natuur

PLATTEGROND EN DOORSNEDEN VAN HET MODEL

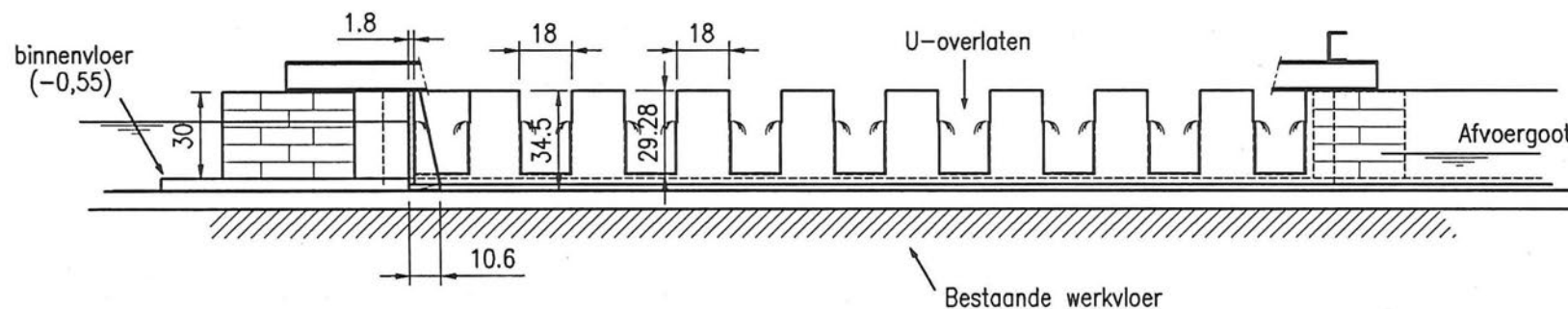
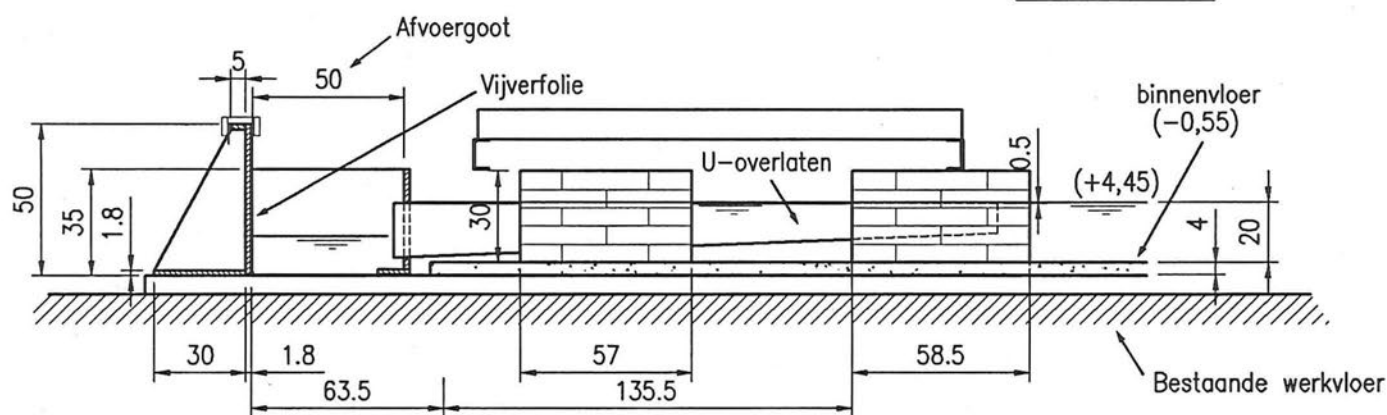




Detail afvoergoot

Bestaande werkvloer

Detail 1



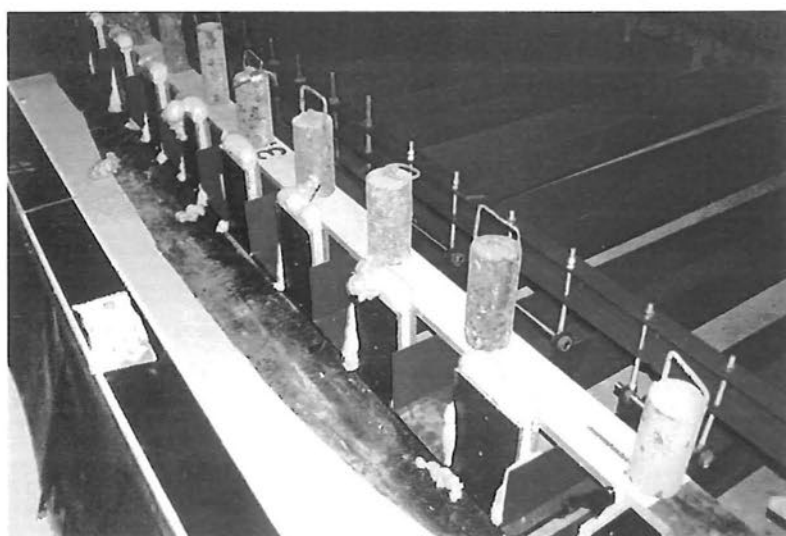
Zicht voor de U-overlaten



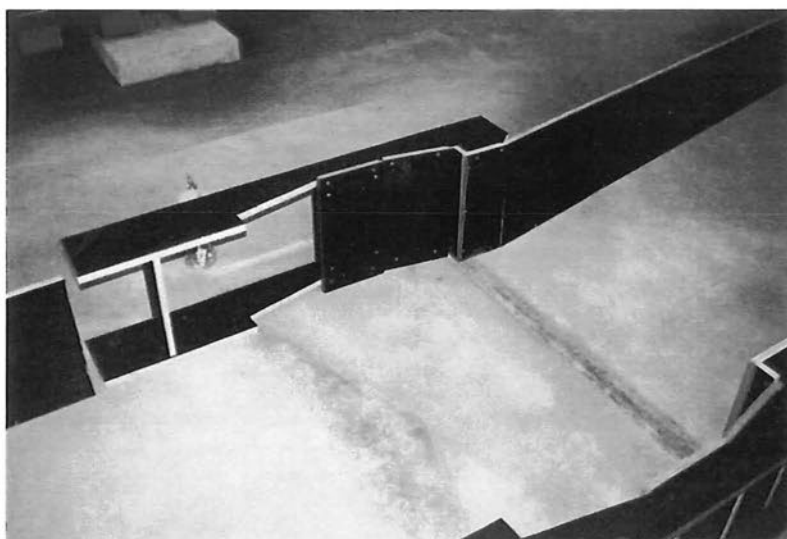
DETAILS VAN DE RUWBOUW VAN HET SCHAALMODEEL



Bovenaanzicht



Detail overstorten

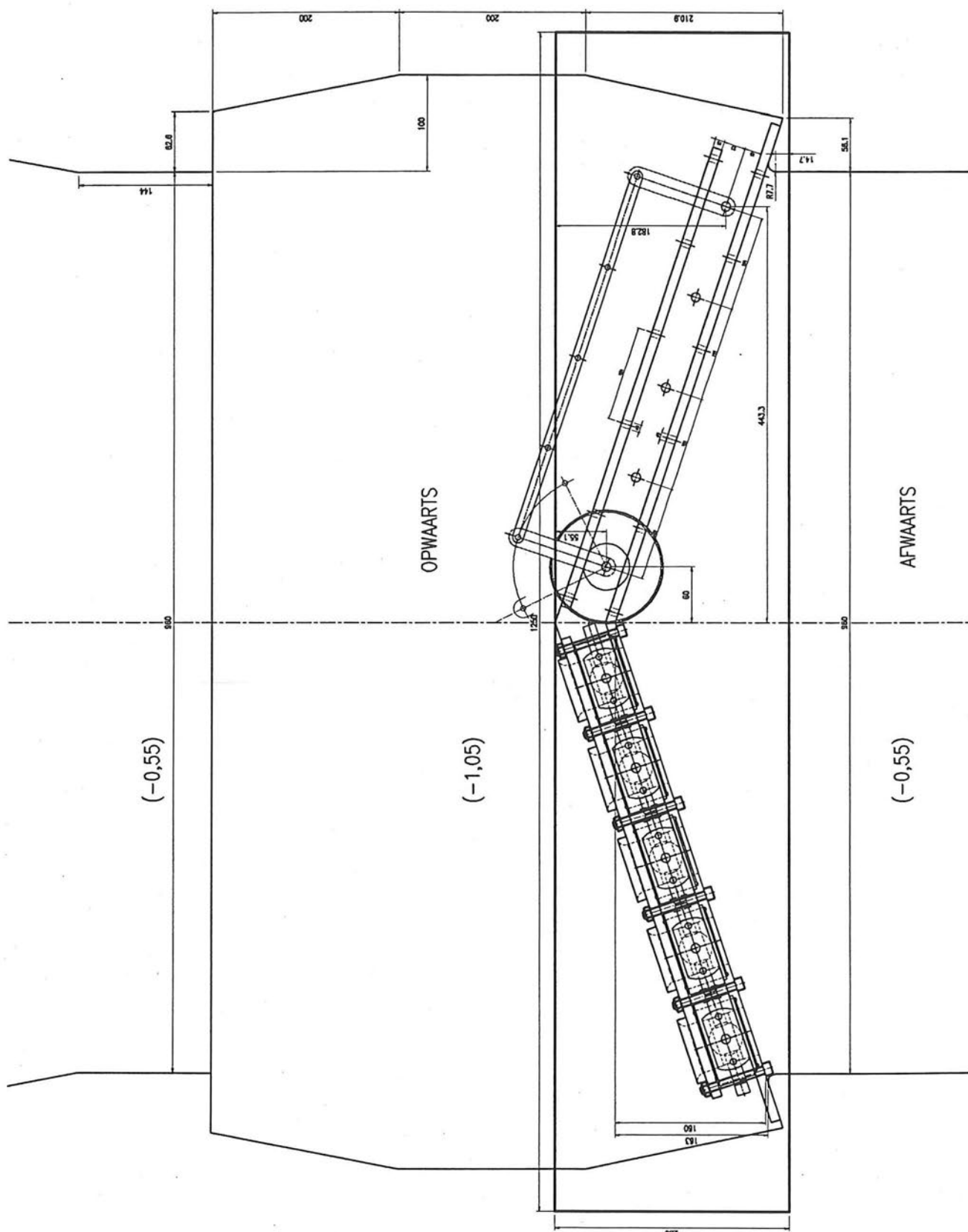


Zicht ter hoogte van
Sluisdeuren



Maten : mm model
Cota's : m natuur

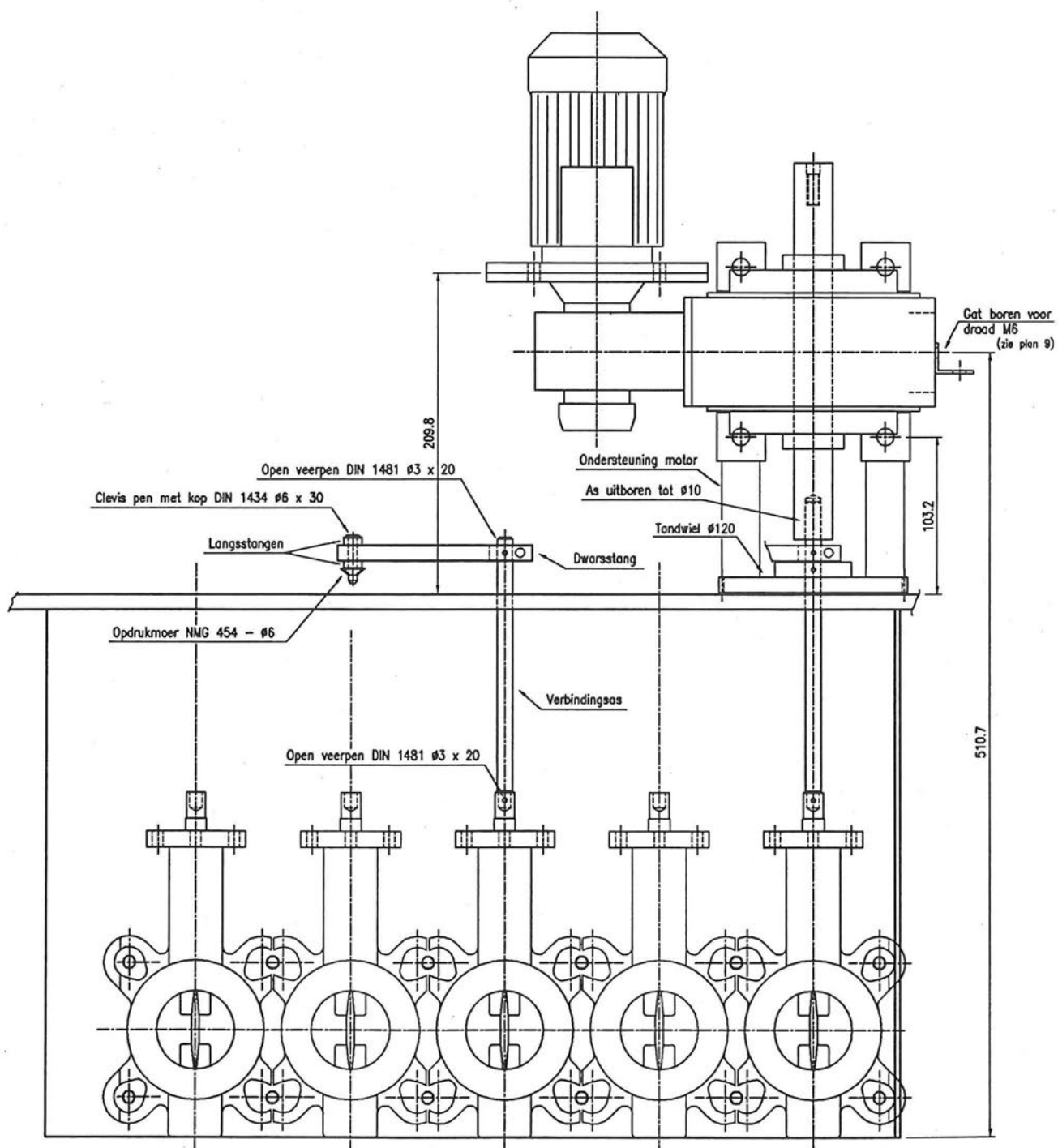
GRONDPLAN SLUISDEUR IN SCHAALMODEL





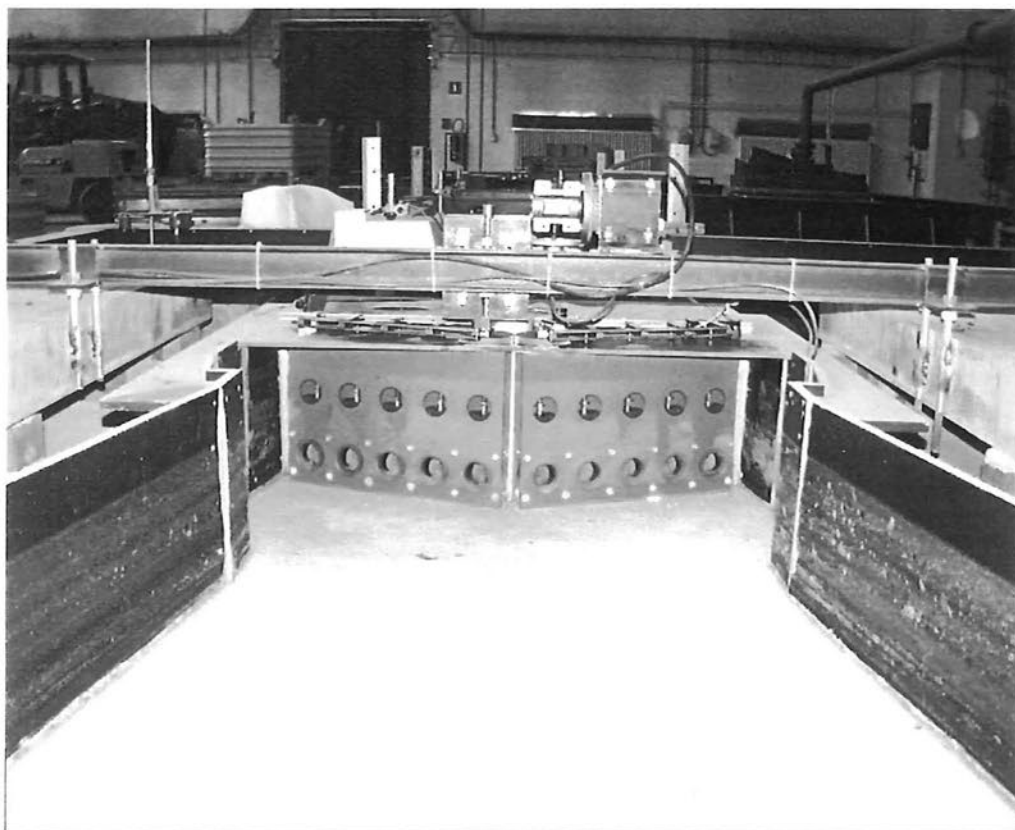
Maten : mm model

VOORAANZICHT SLUISDEUR IN SCHAALMODEL

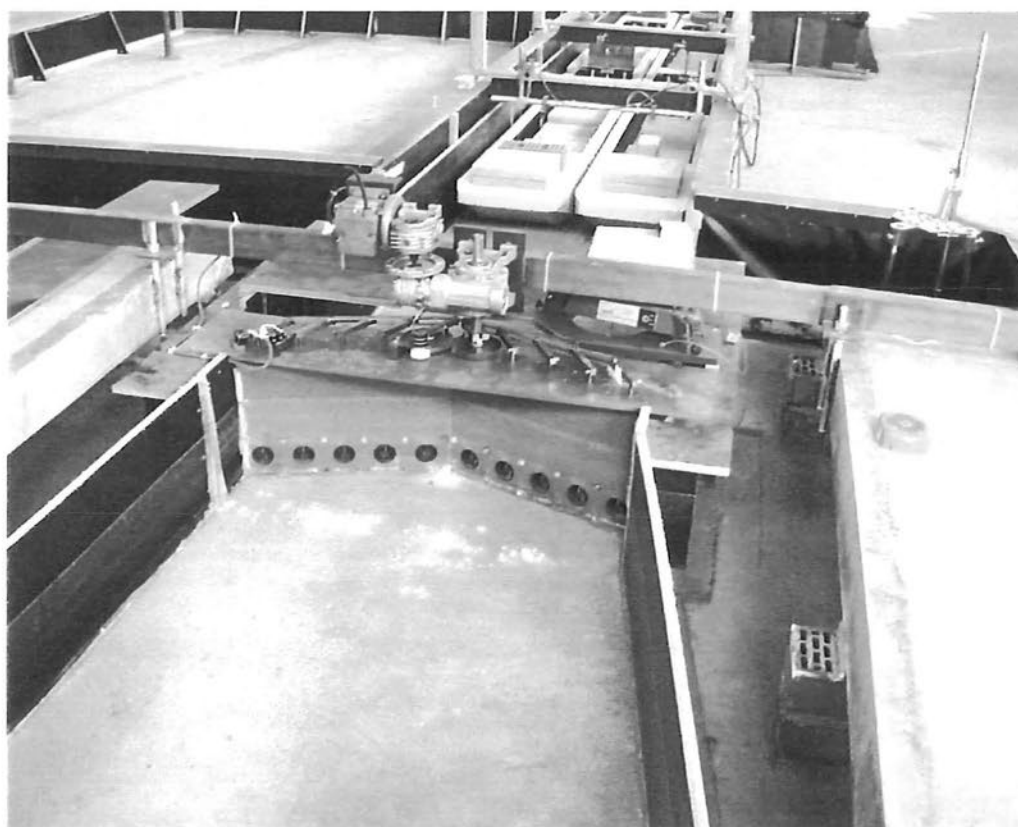




VOORAANZICHT SLUISDEUREN IN SCHAALMODEL



Opwaartse kant



Afwaartse kant



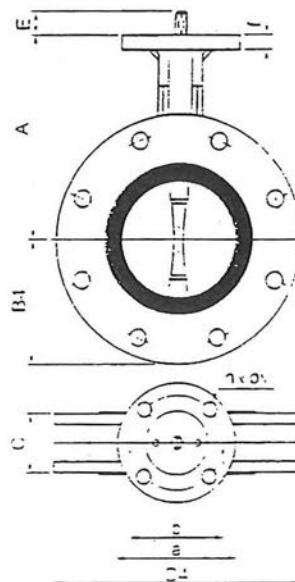
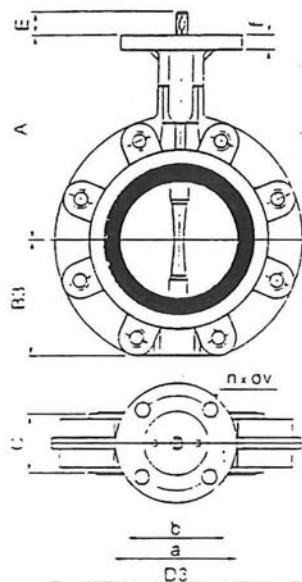
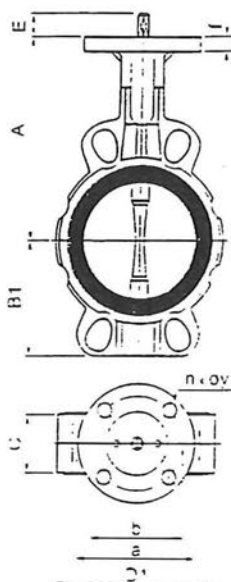
GEBRUIKTE VLINDERKLEPPEN

Absperrklappe DN40-1200

Butterfly valve DN40-1200

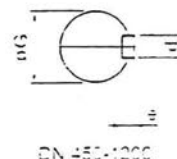
- Afmetingen -

Dimensions.

Typ D1 DN 40-700
Ringgöuse WaferTyp D3 DN 50-400
LugTyp D4 DN 150-1200
Flansch Flange

Welle Shaft

DN 40-400



Klappe Valve								Welle Shaft				ISO 5211				(kg)				
DN	A	B1	B3	B4	C	D1	D3	D4	E	G	d	e	ISO	a	b	f	n x Øv	D1	D3	D4
40	130	60	-	-	33	86	-	-	30	8	-	-	F07	90	70	12	4 x 9	2.0	-	-
50	135	72	72	-	43	101	117	-	30	11	-	-	F07	90	70	12	4 x 9	3.0	3.2	-
65	150	82	82	-	46	121	130	-	30	11	-	-	F07	90	70	12	4 x 9	3.6	4.0	-
80	160	92	88	-	46	138	188	-	30	11	-	-	F07	90	70	12	4 x 9	4.0	6.1	-
100	180	102	102	-	52	160	219	-	30	11	-	-	F07	90	70	12	4 x 9	5.5	8.5	-
125	195	120	116	-	56	189	248	-	30	14	-	-	F07	90	70	12	4 x 9	7.5	10.0	-
150	210	133	128	143	56	214	274	295	30	14	-	-	F07	90	70	12	4 x 9	8.6	11.0	15.0
200	240	163	161	170	60	272	332	340	30	17	-	-	F07	90	70	12	4 x 9	12.7	19.6	19.5
250	280	196	199	200	68	324	402	406	40	22	-	-	F12	155	125	18	4 x 13	22.2	28.7	30.5
300	315	232	234	239	78	378	472	482	40	22	-	-	F12	155	125	18	4 x 13	30.8	41.2	44.0
350	330	257	258	265	78	425	520	533	40	22	-	-	F12	155	125	18	4 x 13	41.5	55.0	59.0
400	365	292	290	296	102	475	584	596	40	27	-	-	F12	155	125	18	4 x 13	57.2	75.0	82.0
450	400	359	-	359	114	538	-	640	65	ø45	14	9	F14	175	140	25	4 x 18	95.0	-	118
500	440	397	-	397	127	595	-	715	65	ø45	14	9	F14	175	140	25	4 x 18	125	-	175
600	525	467	-	467	154	695	-	840	80	ø70	20	12	F16	220	165	25	4 x 22	180	-	260
700	565	518	-	503	165	800	-	927	80	ø70	20	12	F25	300	254	25	8 x 18	280	-	345
800	630	-	-	580	190	-	-	1060	80	ø70	20	12	F25	300	254	30	8 x 18	-	-	510
900	695	-	-	650	203	-	-	1170	100	ø80	22	14	F30	350	298	30	8 x 22	-	-	660
1000	748	-	-	696	216	-	-	1255	100	ø80	22	14	F30	350	298	30	8 x 22	-	-	790
1100	820	-	-	738	216	-	-	1340	100	ø80	22	14	F30	350	298	30	8 x 22	-	-	850
1200	882	-	-	809	254	-	-	1485	120	ø100	28	16	F30	350	298	30	8 x 22	-	-	1180

ECONOSTO



Kv-WAARDEN VAN FABRIKANT

DN	Öffnungswinkel / opening angle								
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
40	0.8	2.6	7.3	15	24	38	63	87	120
50	1.3	3.8	10	22	38	58	98	128	189
65	2.1	7.3	18	35	61	93	185	236	311
80	2.7	10	26	48	85	128	218	344	433
100	4.3	15	41	74	123	227	372	624	745
125	6.4	24	60	116	213	386	587	1018	1219
150	10	39	93	169	316	526	847	1223	1805
200	19	64	163	302	567	985	1551	2288	3093
250	28	103	249	457	848	1482	2285	3302	4825
300	34	127	308	605	1119	2091	3196	4912	6946
350	47	163	388	791	1490	2557	3956	5715	8269
400	60	223	490	1037	1900	3256	5187	7800	11036
450	77	266	644	1253	2400	4070	6565	9824	14115
500	99	334	827	1629	2973	5150	8198	12625	18056
600	137	488	1137	2356	4404	7456	11780	17837	24868
700	187	643	1632	3142	5837	10387	16997	24552	35883
800	249	943	2230	4392	7977	13682	22303	30626	44559
900	317	1204	2835	5634	10390	17479	28602	41229	58676
1000	514	1935	4492	8020	13602	22115	36289	55088	69427
1100	711	2666	6150	10406	16813	26750	43976	68946	80178
1200	947	3552	7912	13846	21586	34486	56460	88288	103785

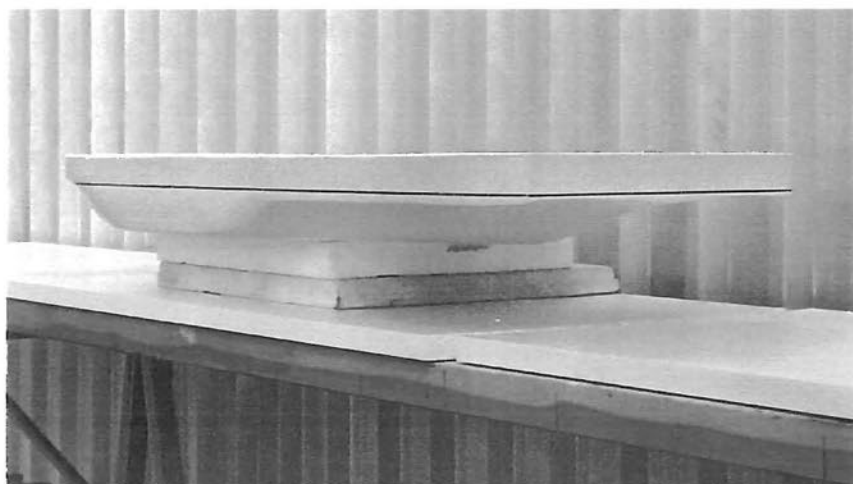
Kv[m³/h]



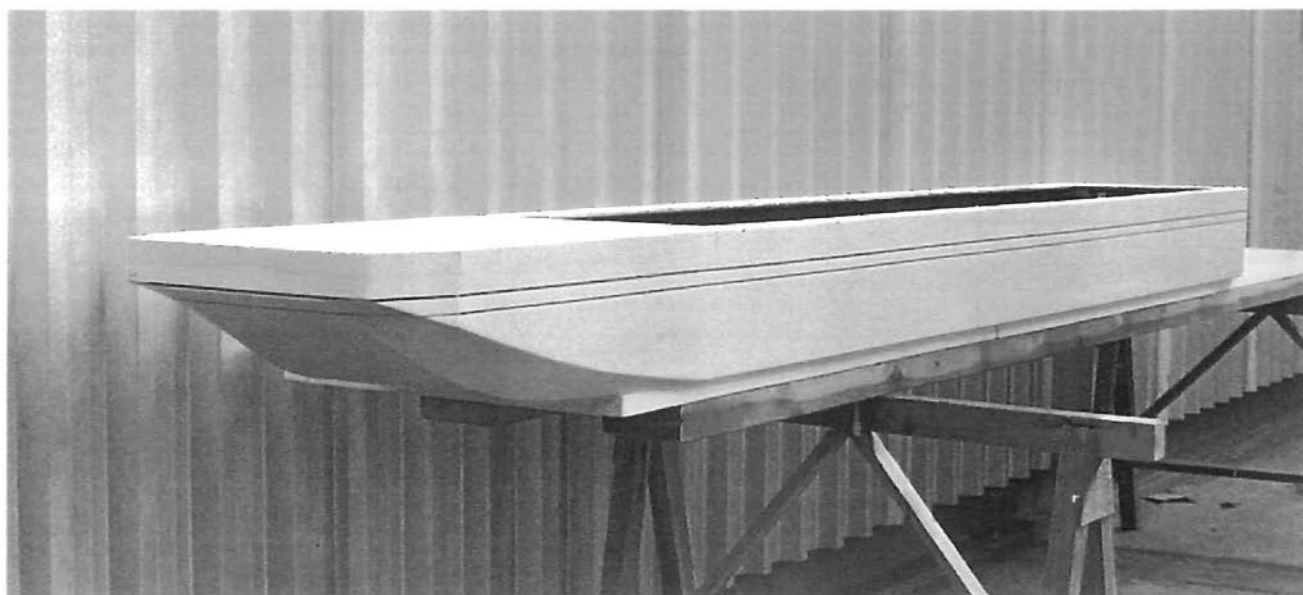
FOTO'S DUWBOOT EN DUWBAK



Duwkonvooi



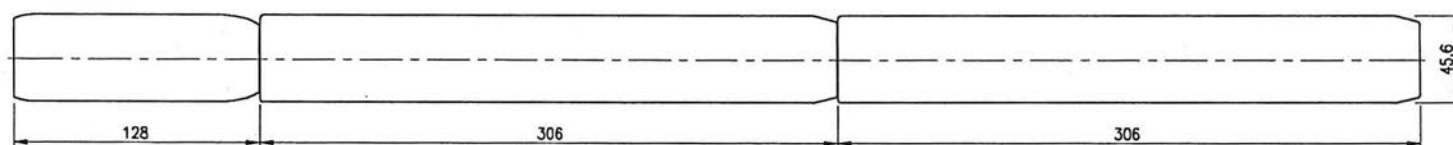
Duwboot



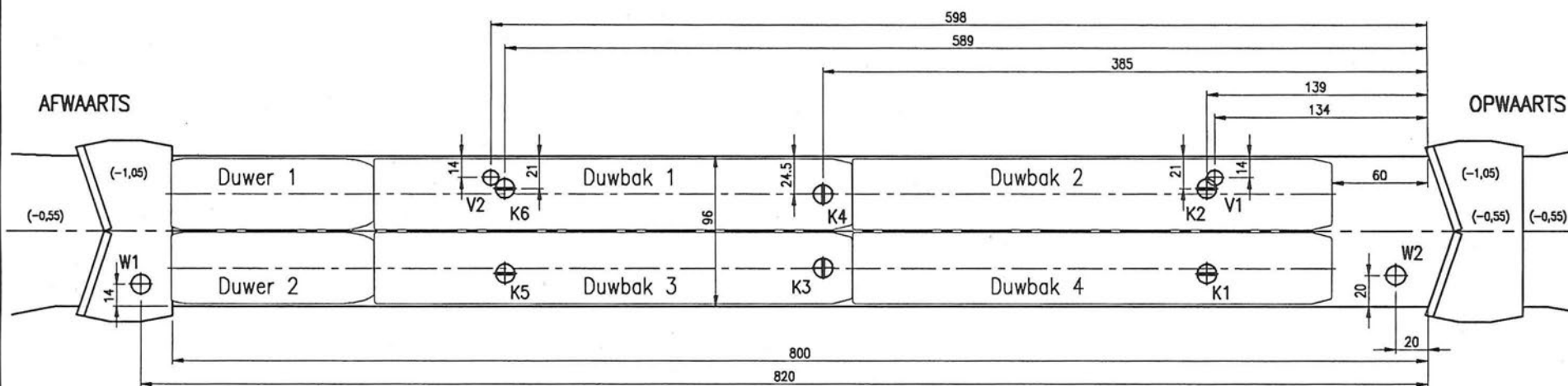
Duwbak

Maten : cm model
Detail : maten in mm
Cota's : m natuur

MEETOPSTELLING

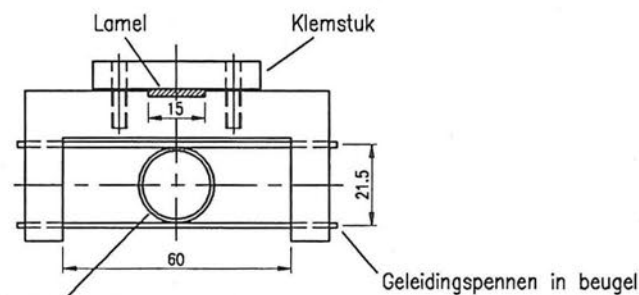


Schip 2 = duwer 1 + duwbak 1 + duwbak 2



DETAIL : Beugel voor krachtoverbrenging schip - lamellen met rekstrookje

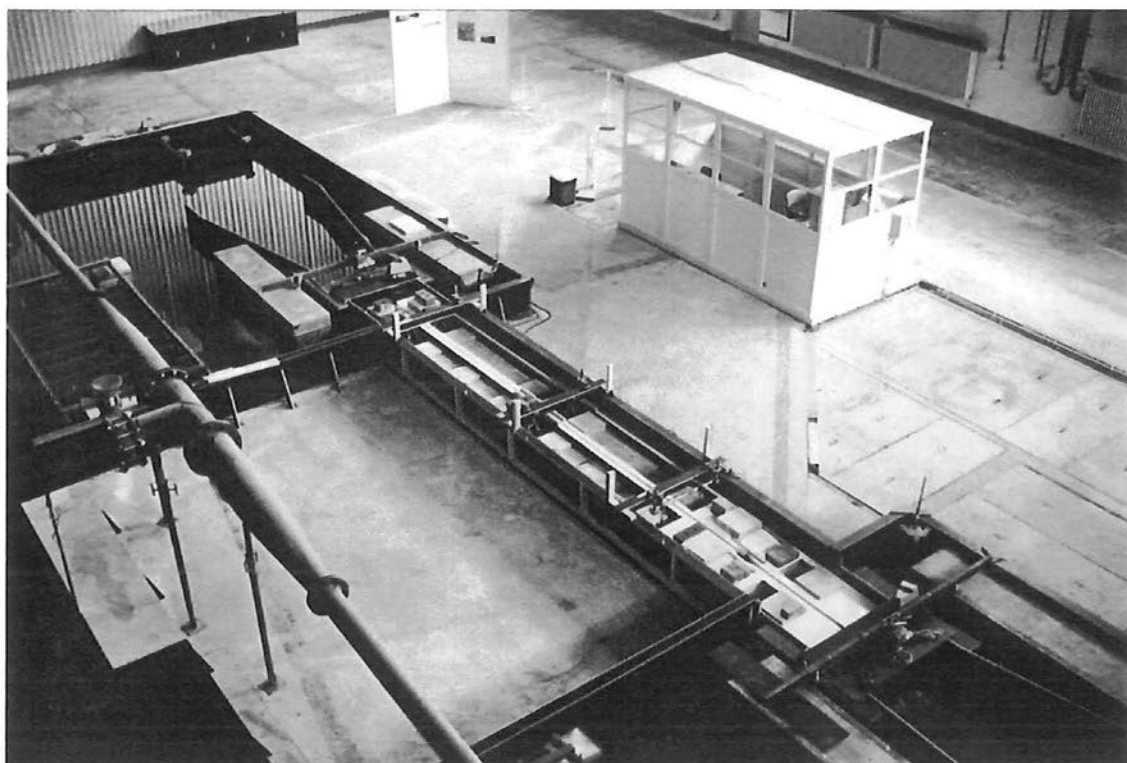
K1, K2, K5, K6 : Dwarskrachtenmeters
K3, K4 : Langskrachtenmeters
V1, V2 : Vertikale verplaatsingsopnemers schip
W1, W2 : Waterstandsvolgers



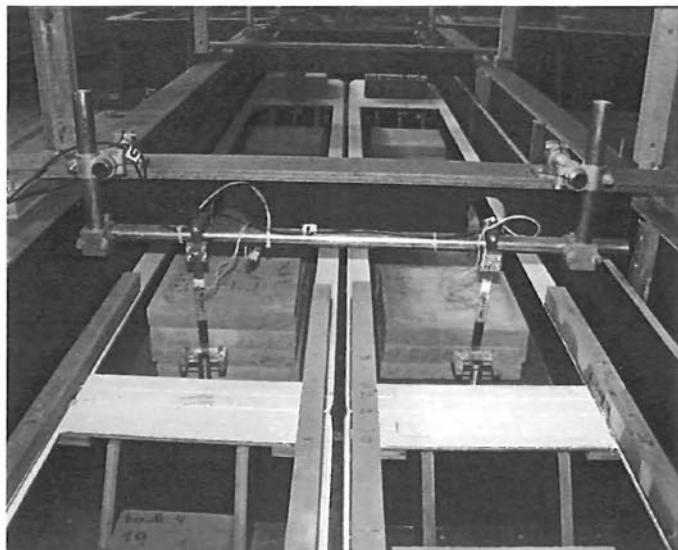
Vertikale geleidingsstaaf op schip vastgemaakt



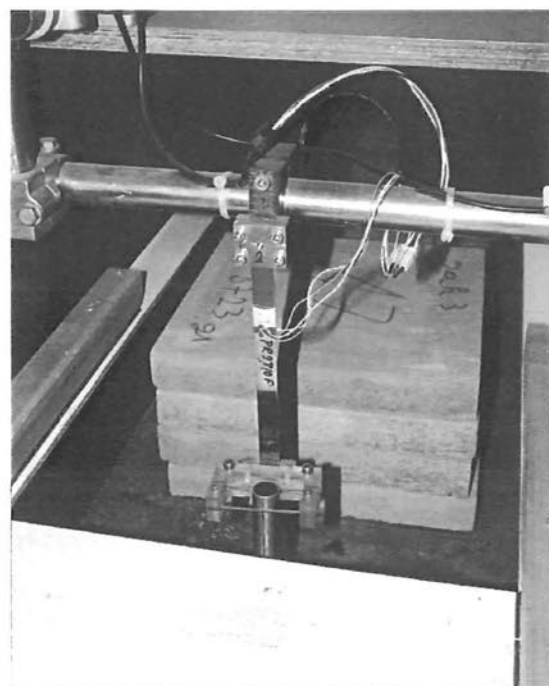
BOVENAANZICHT MET BOTEN VAN HET SCHAALMODEL



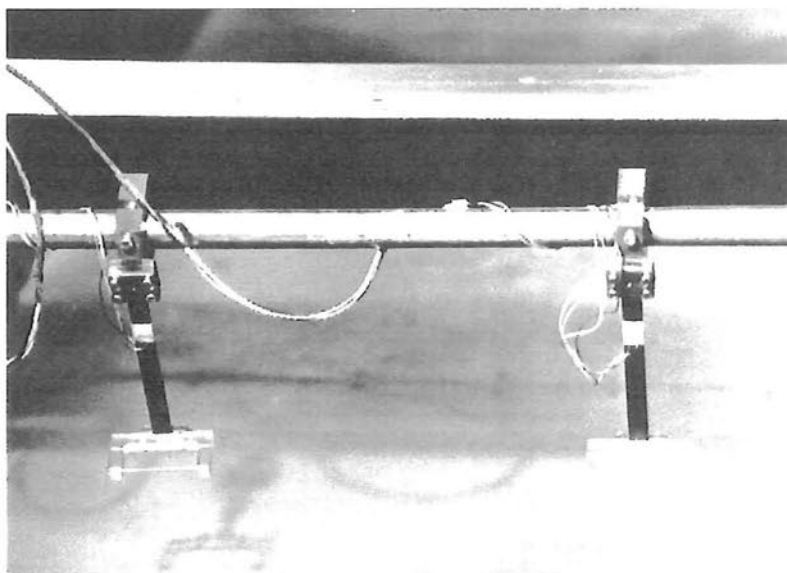
FOTO'S KRACHTENMETERS



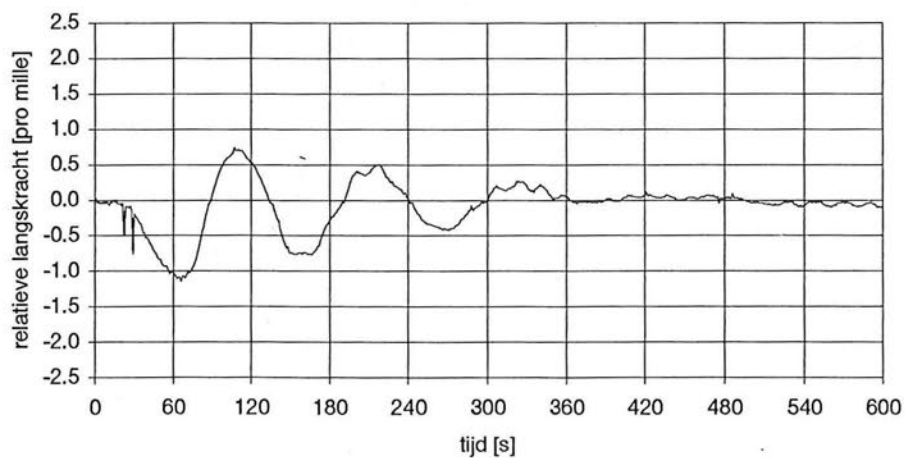
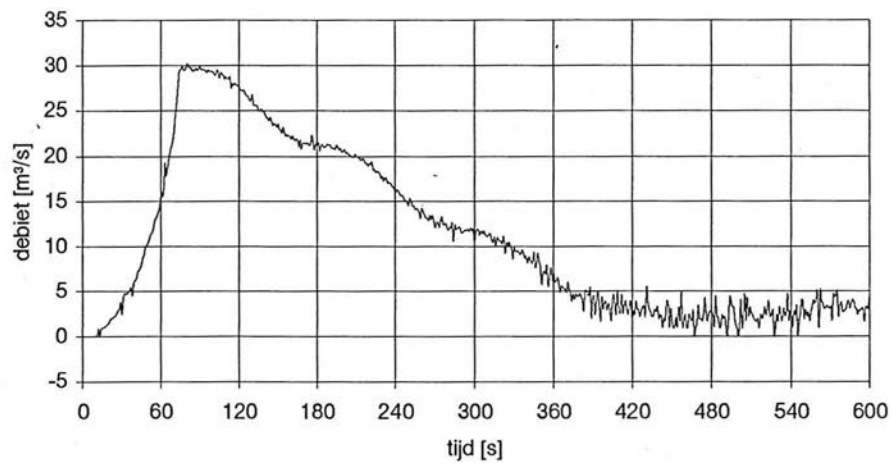
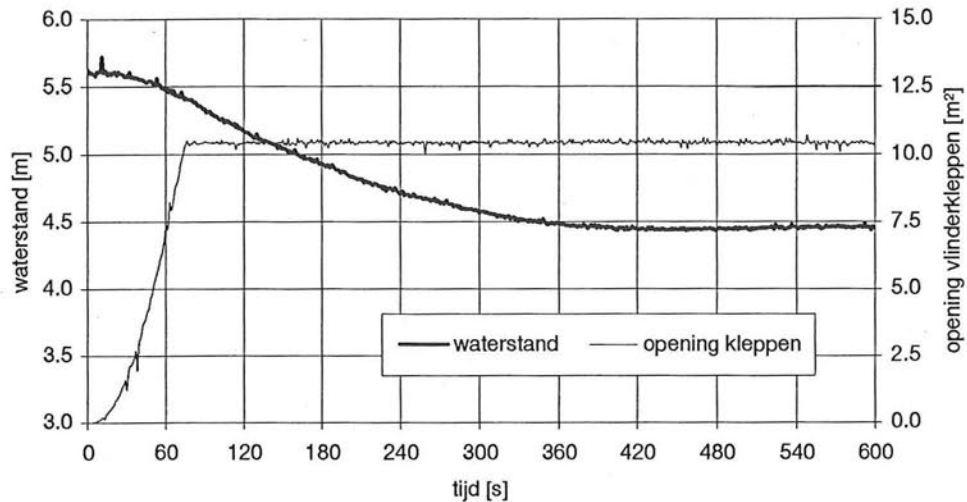
Overzicht bevestigingsmethode



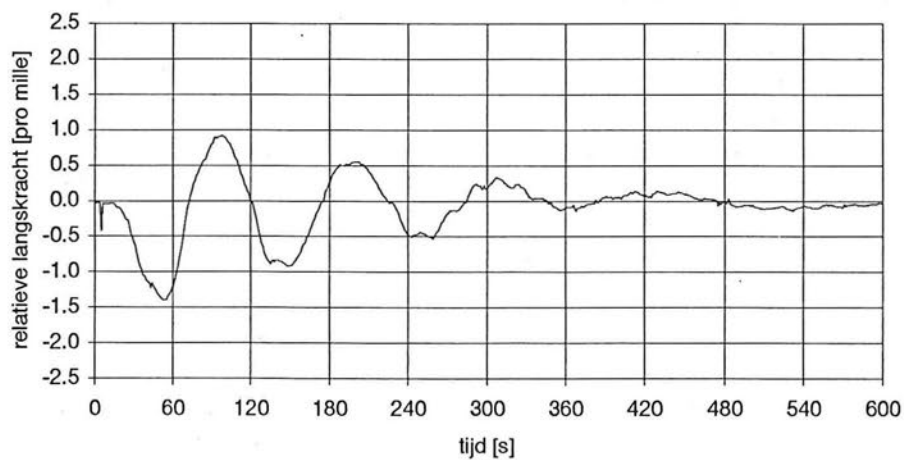
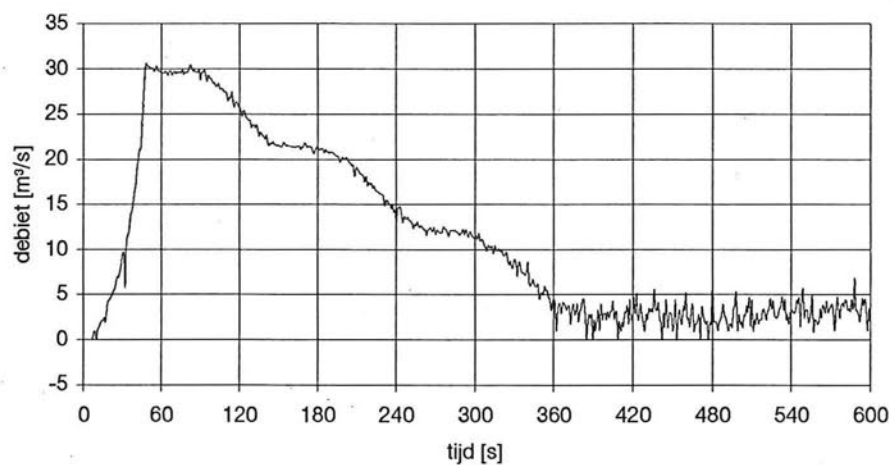
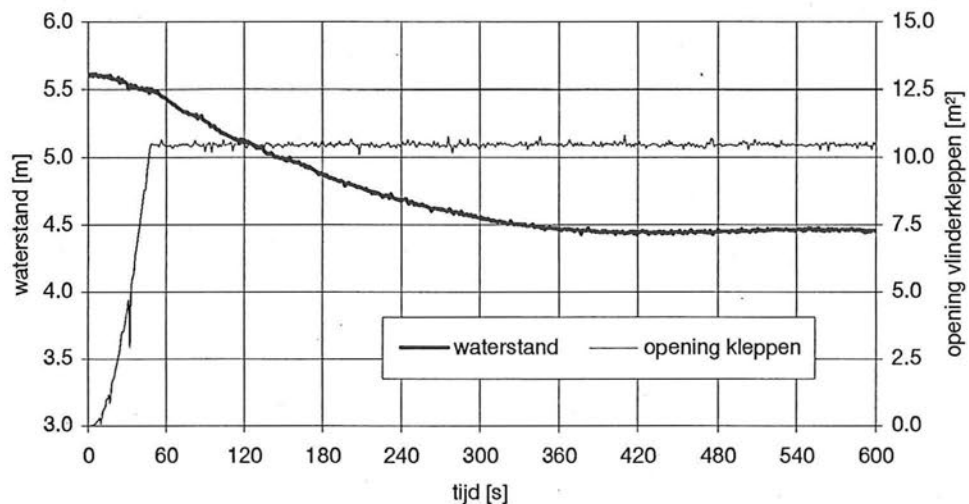
Beugel voor krachtoverbrenging schip
lamellen met rekstrookje



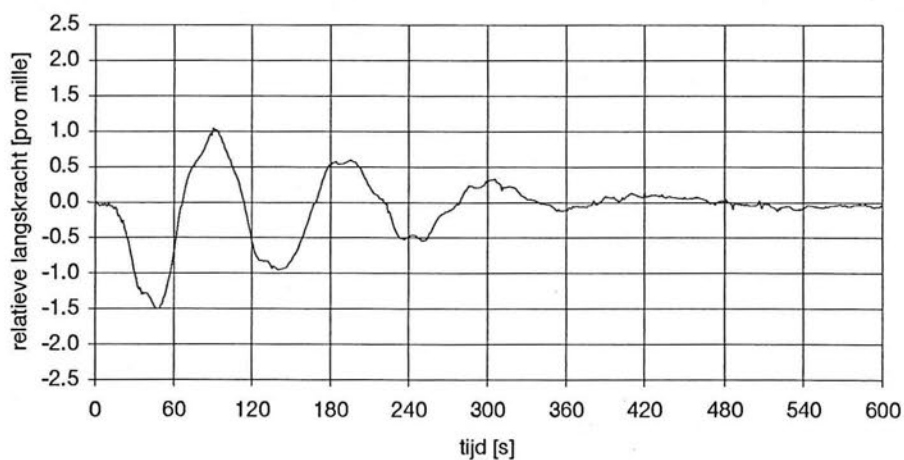
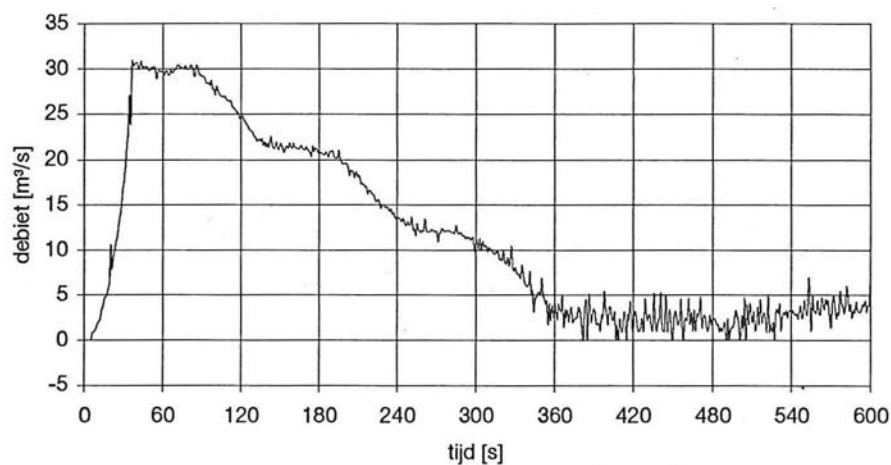
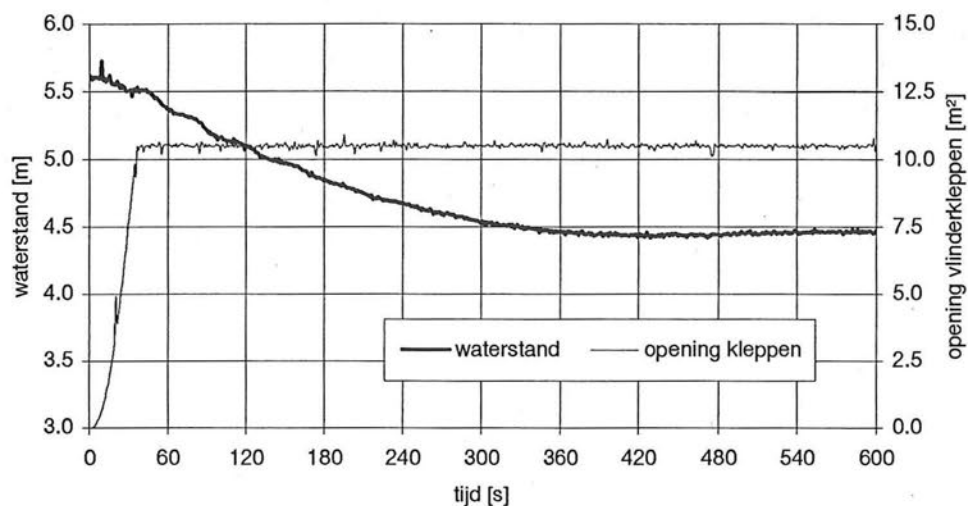
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B001



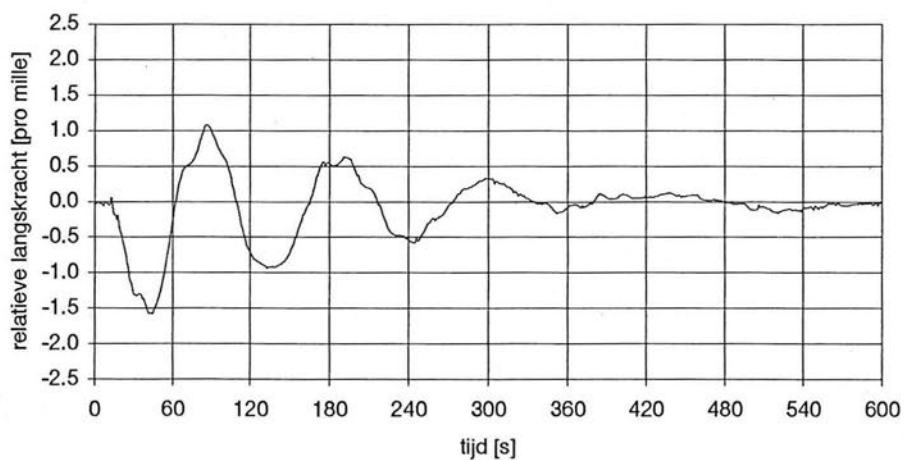
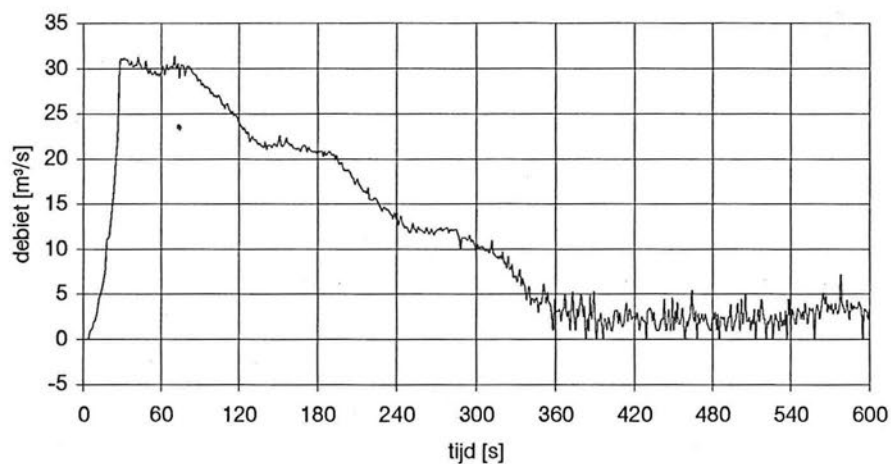
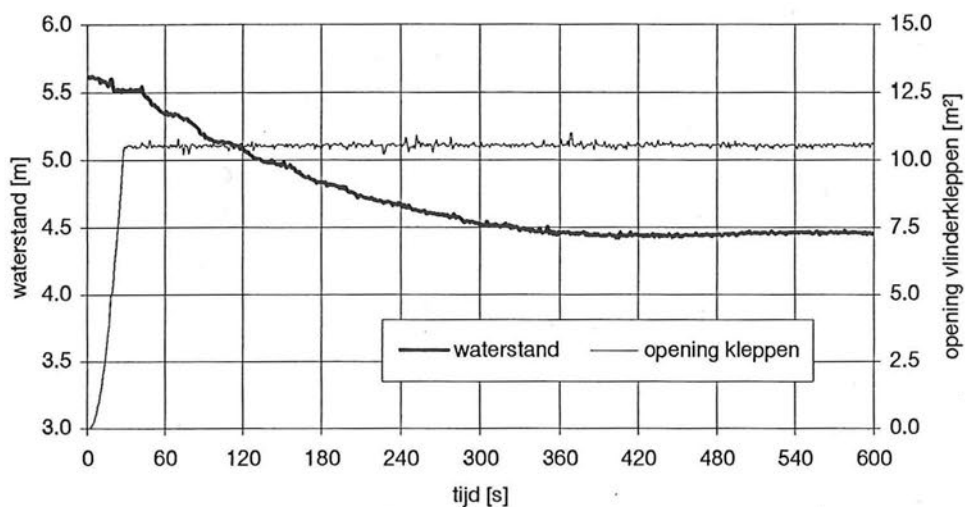
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B002



LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B003

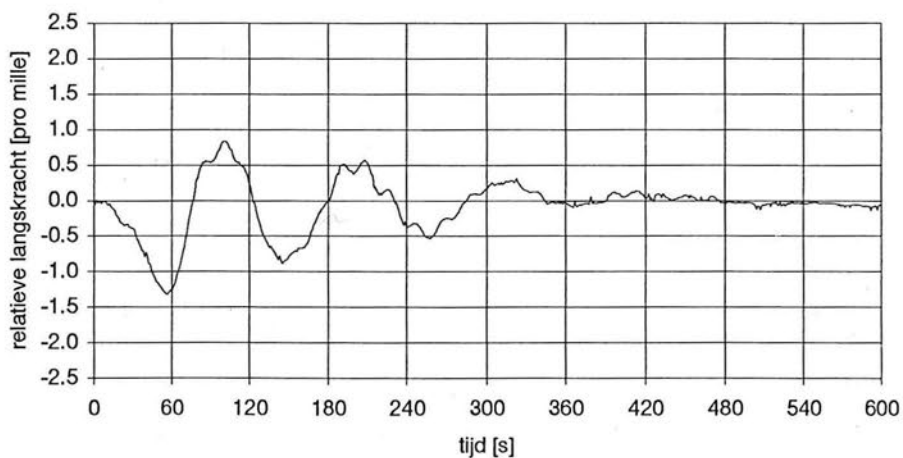
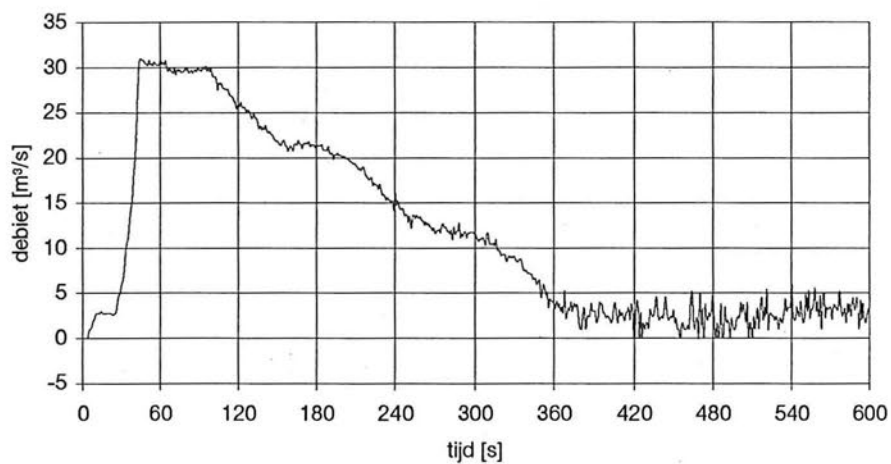
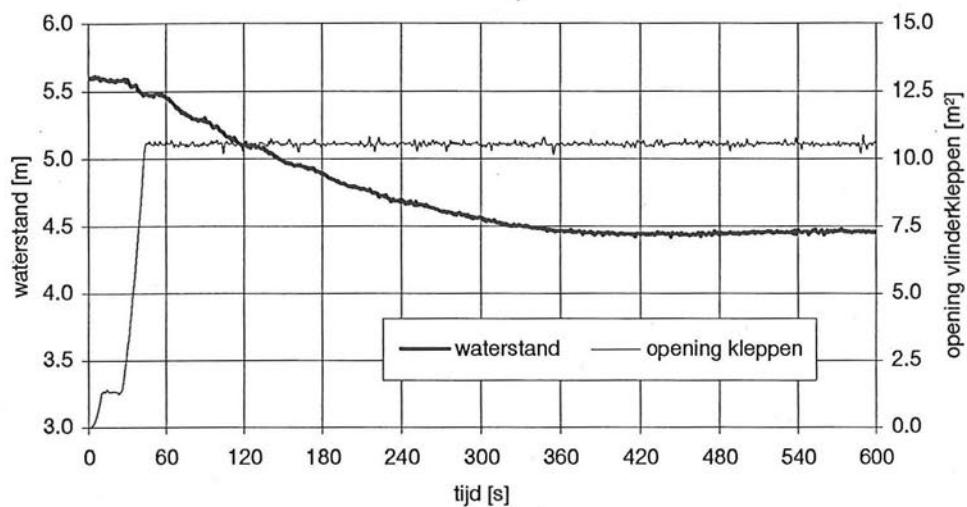


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B004

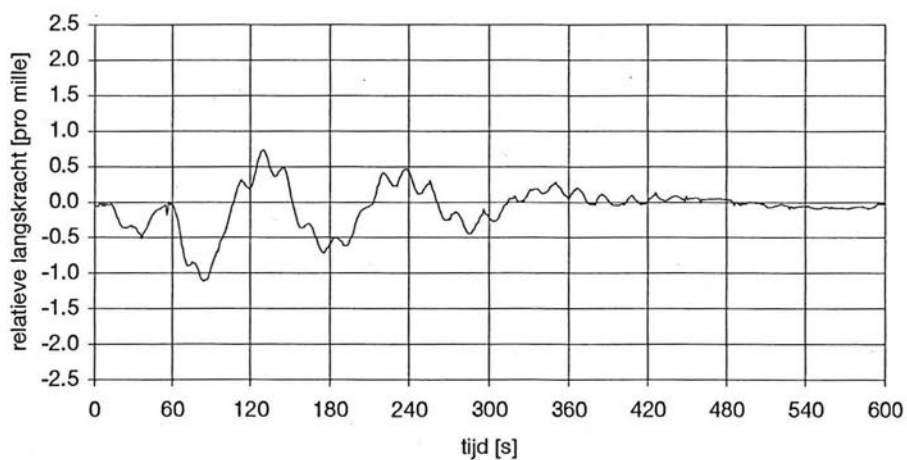
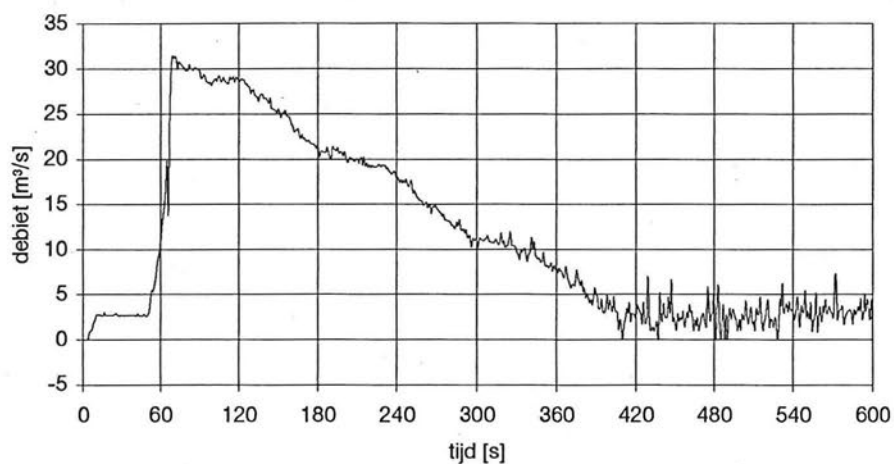
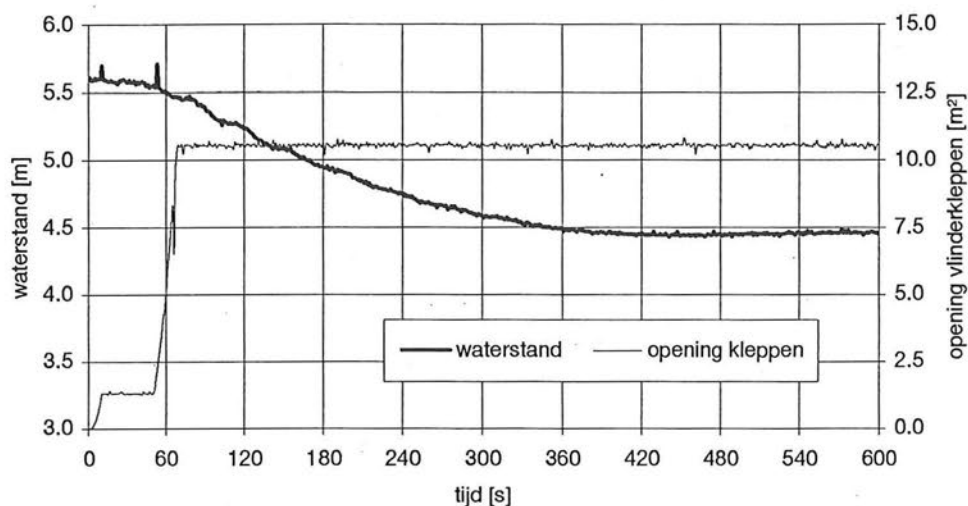




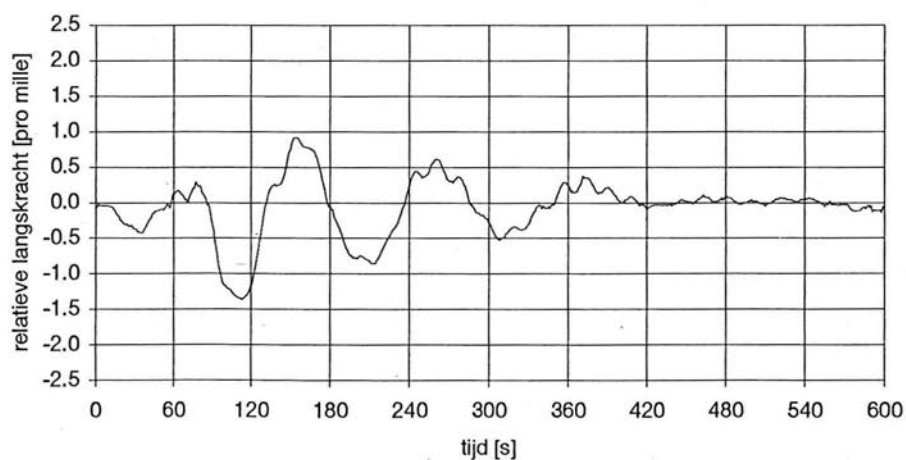
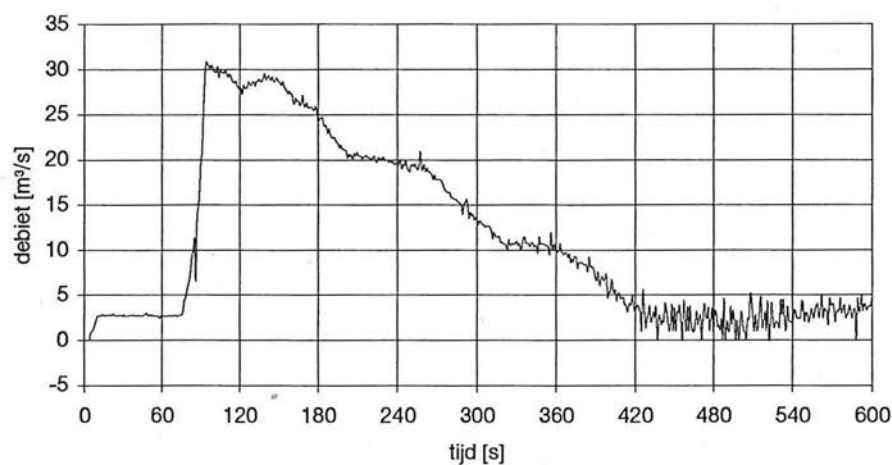
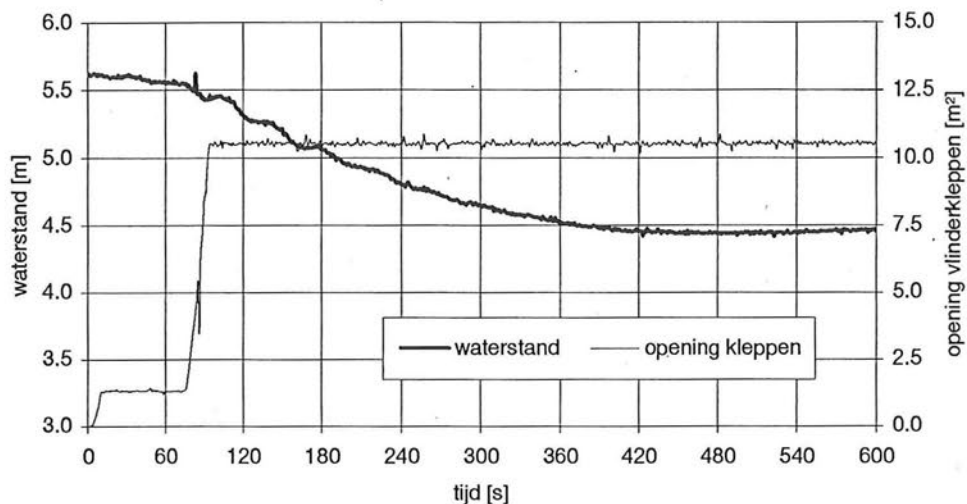
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B005

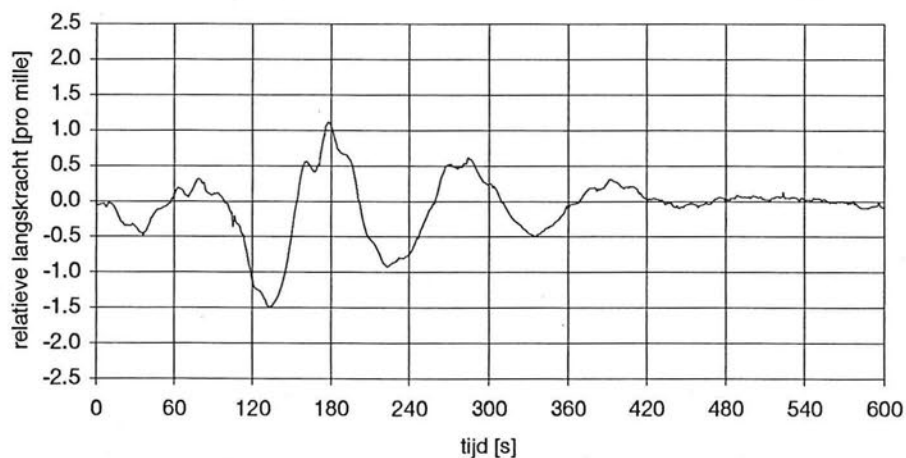
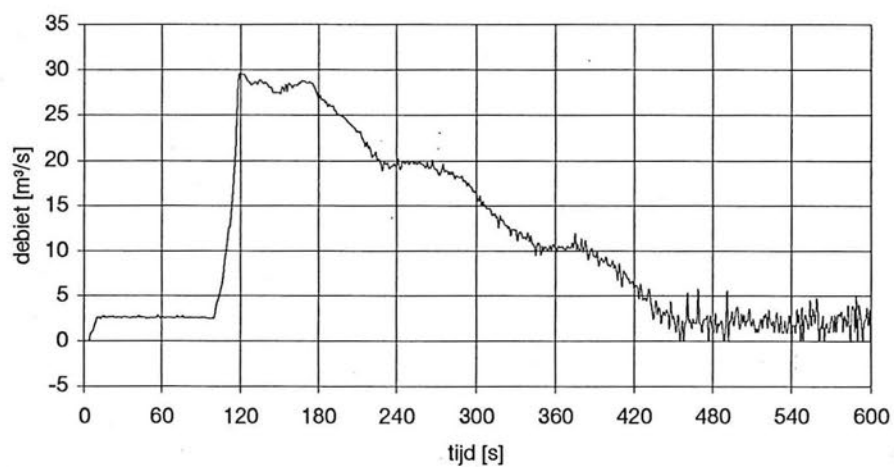
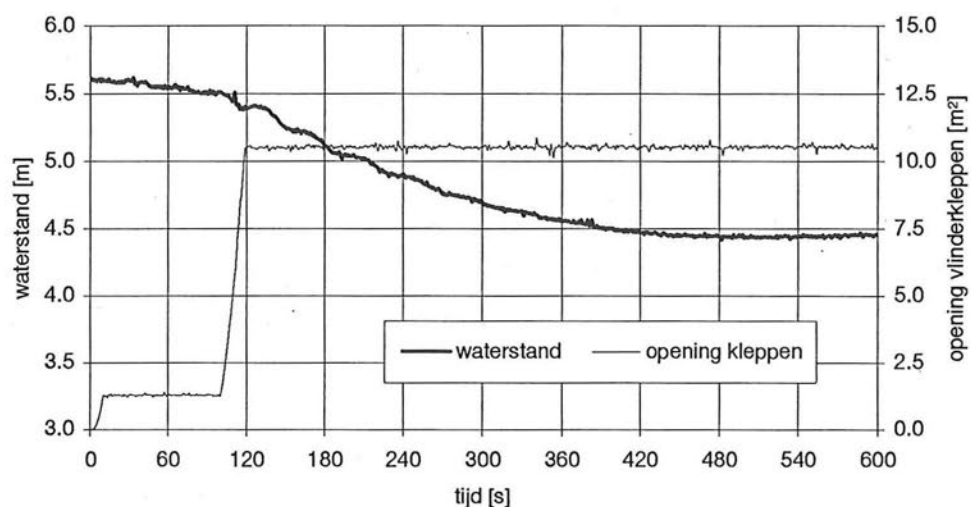


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B006

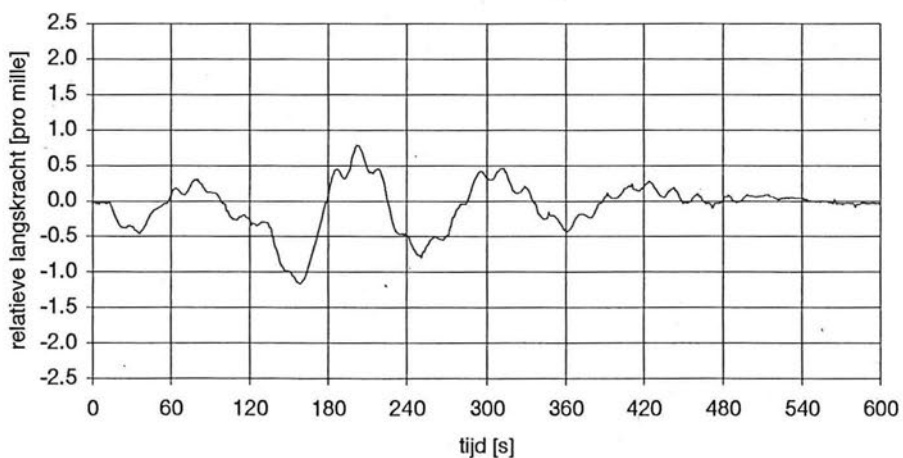
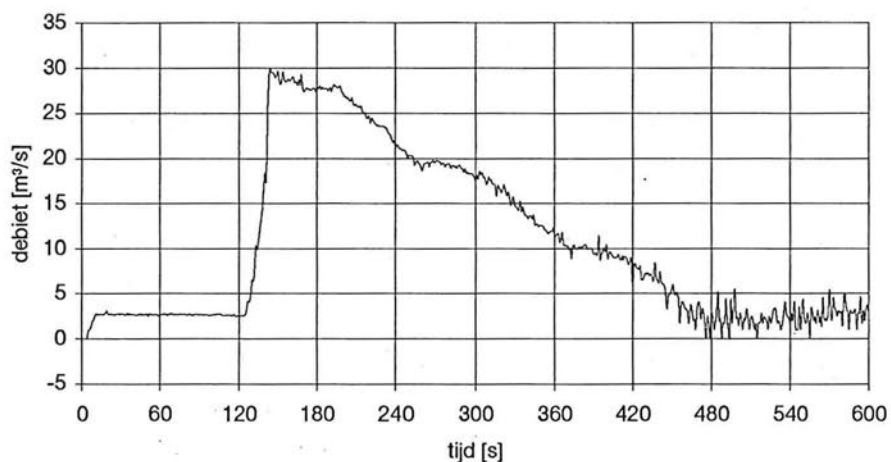
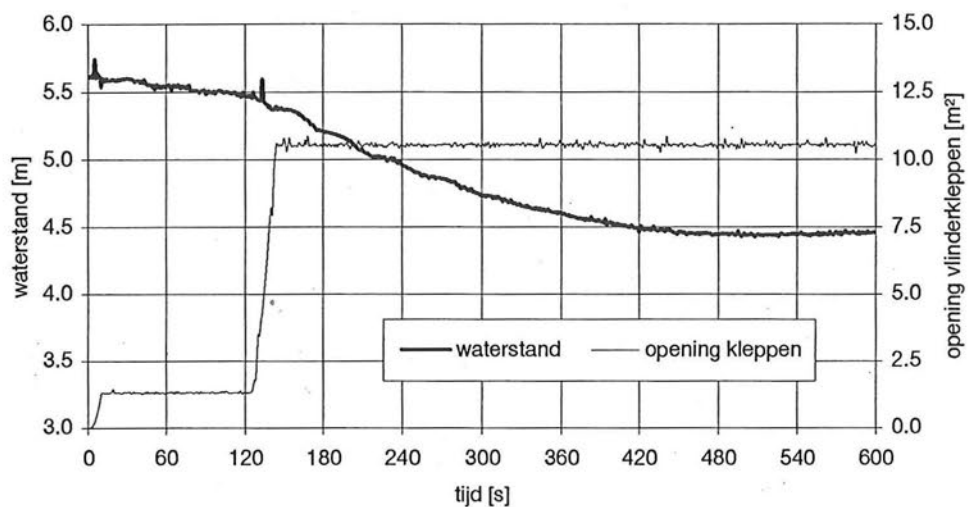


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B007

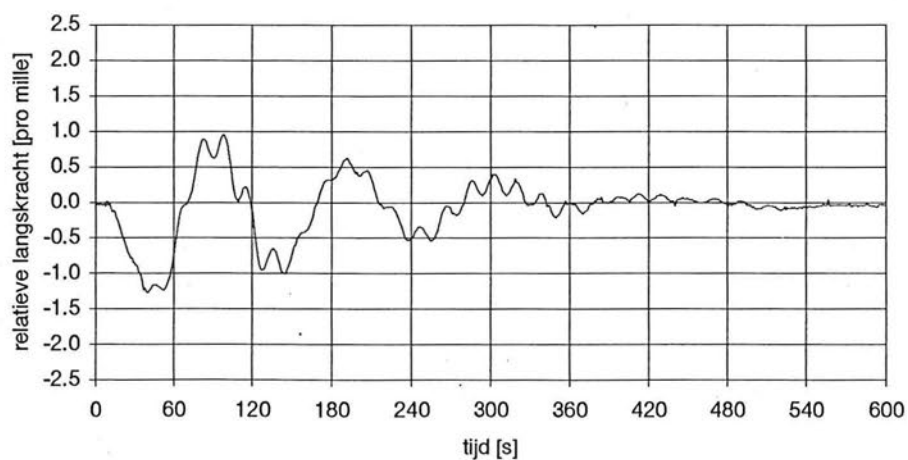
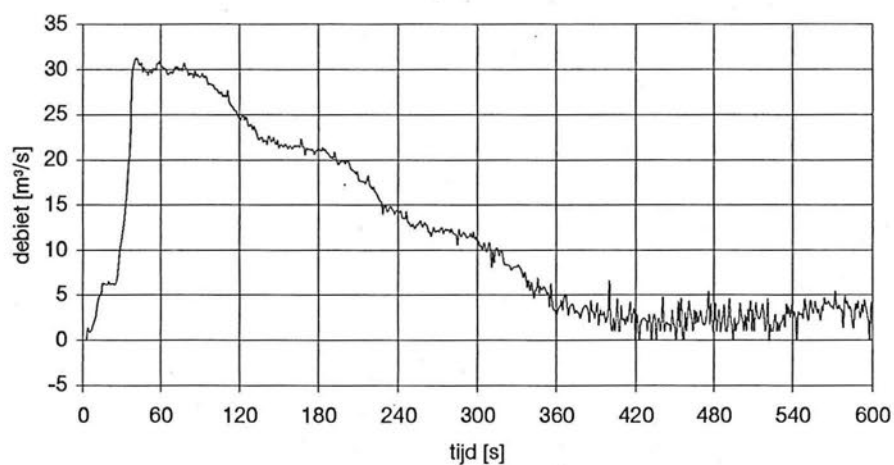
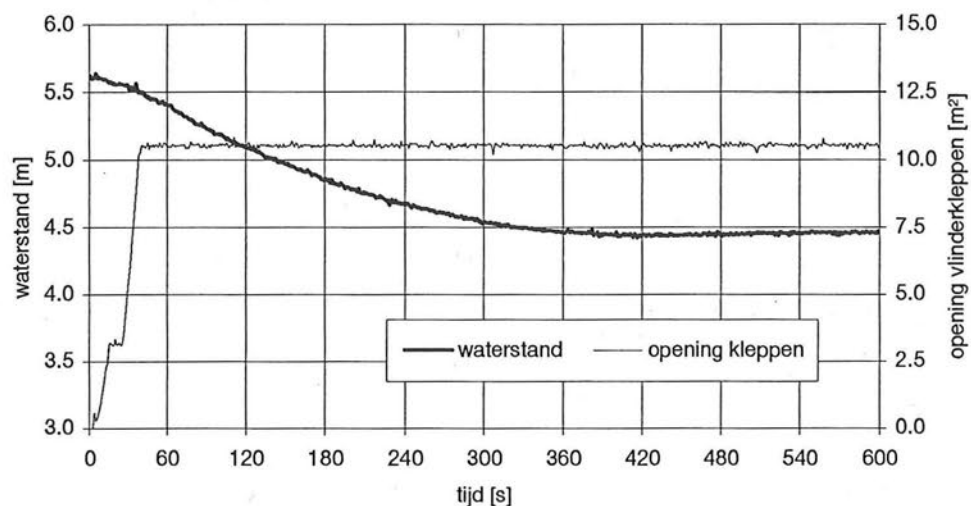


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B008


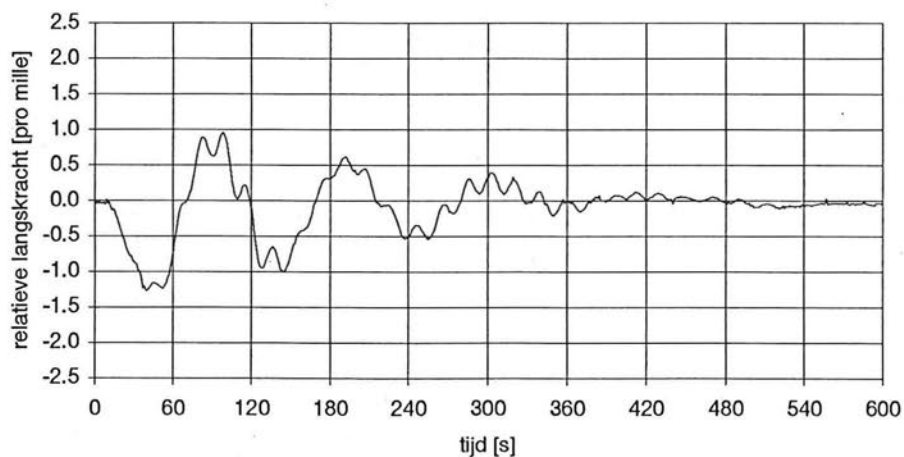
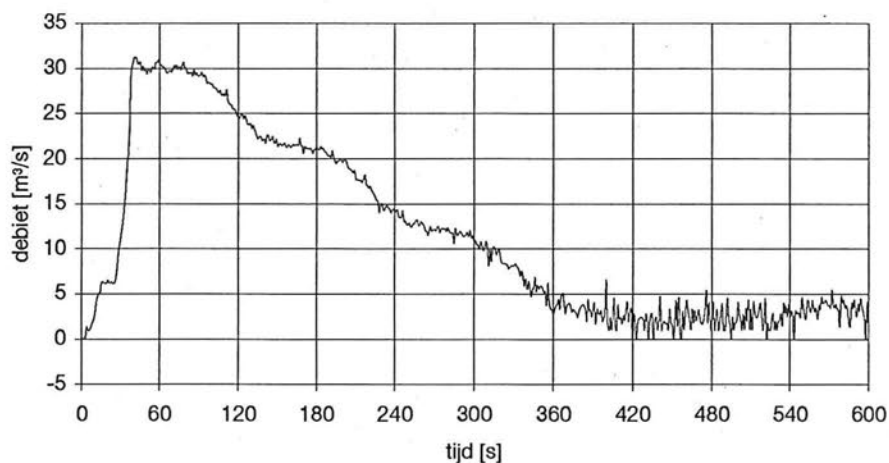
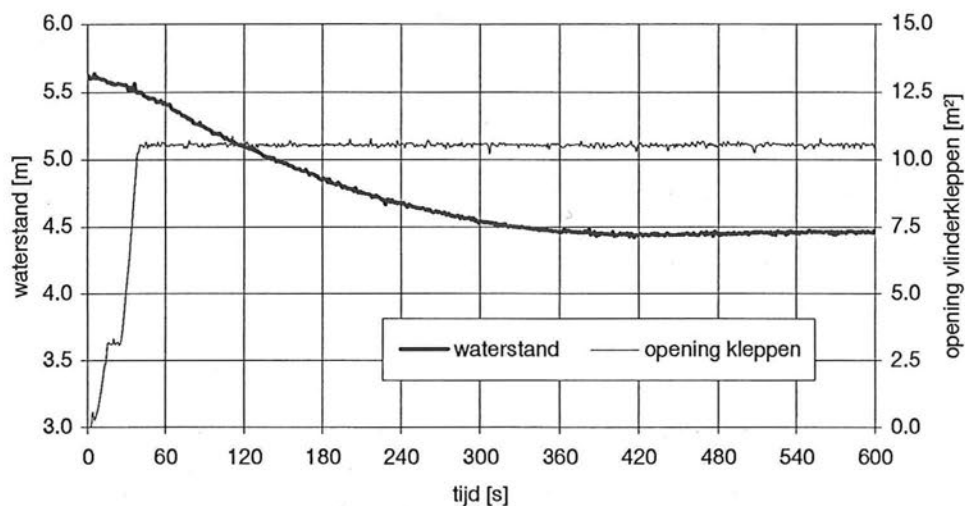
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B009



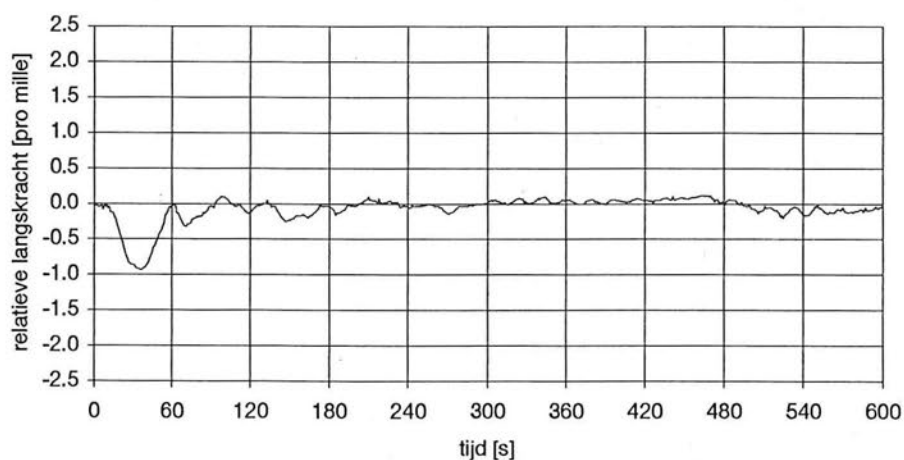
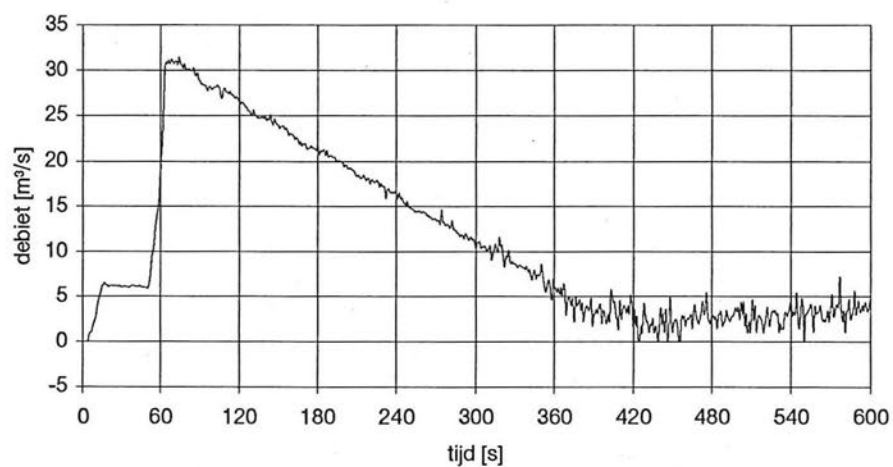
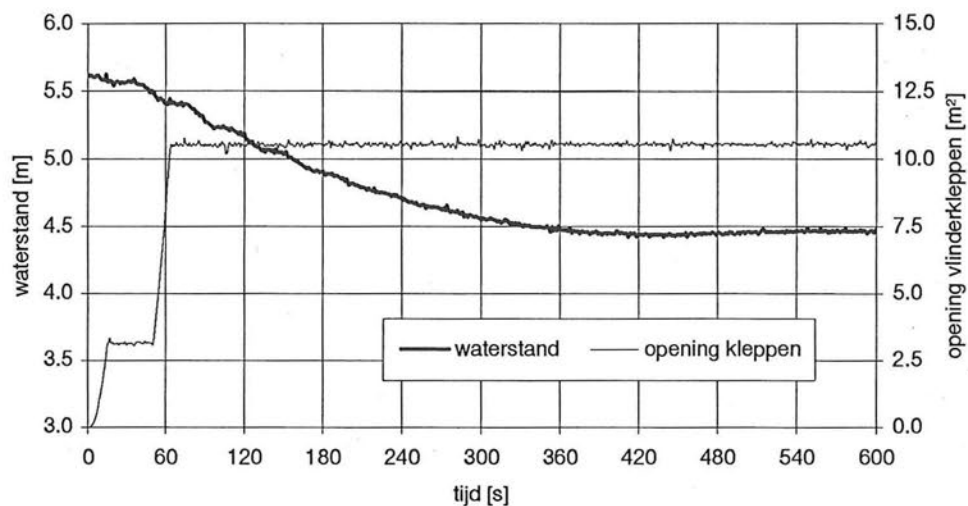
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B010



LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B011

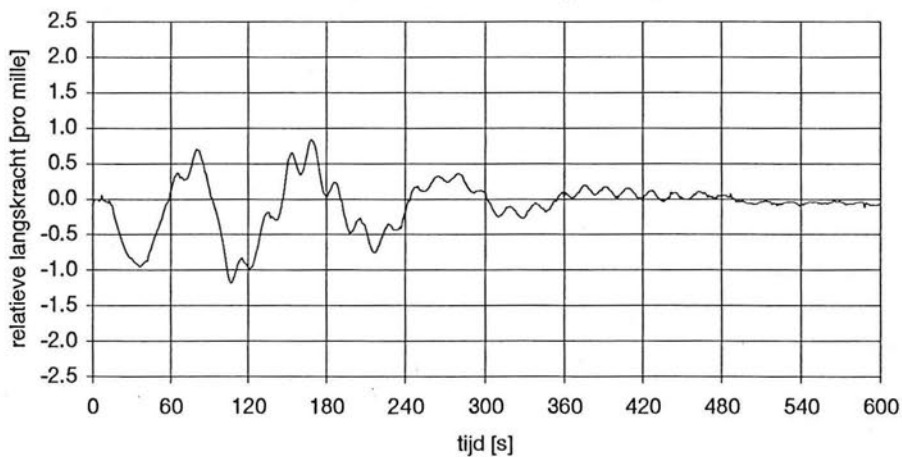
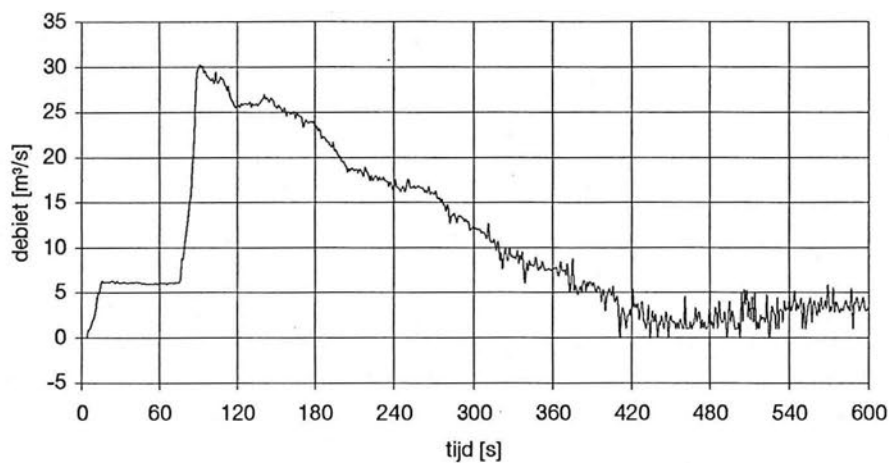
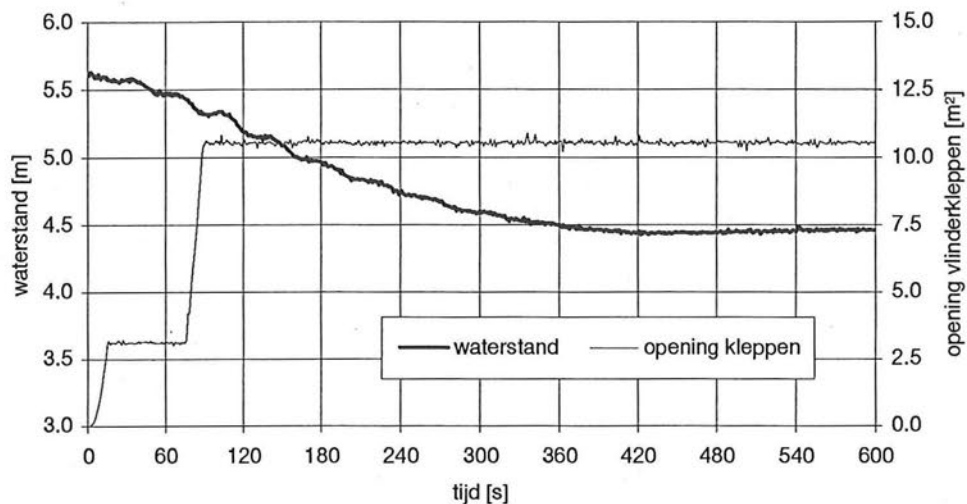


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B012

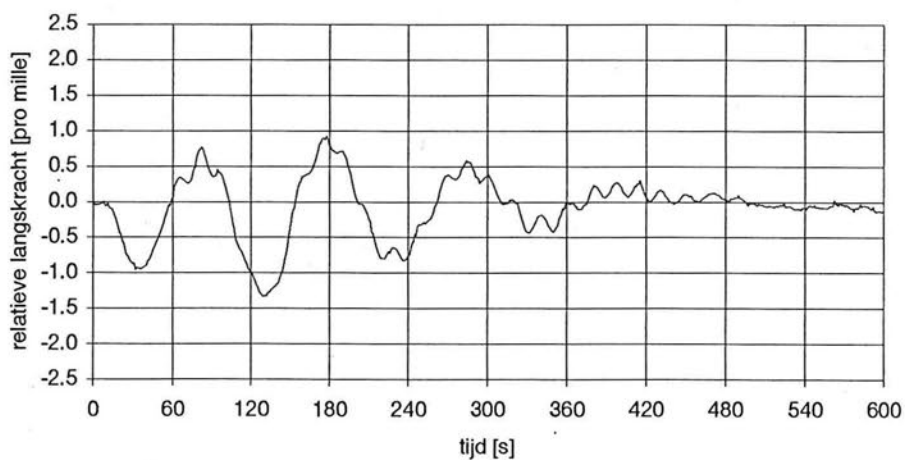
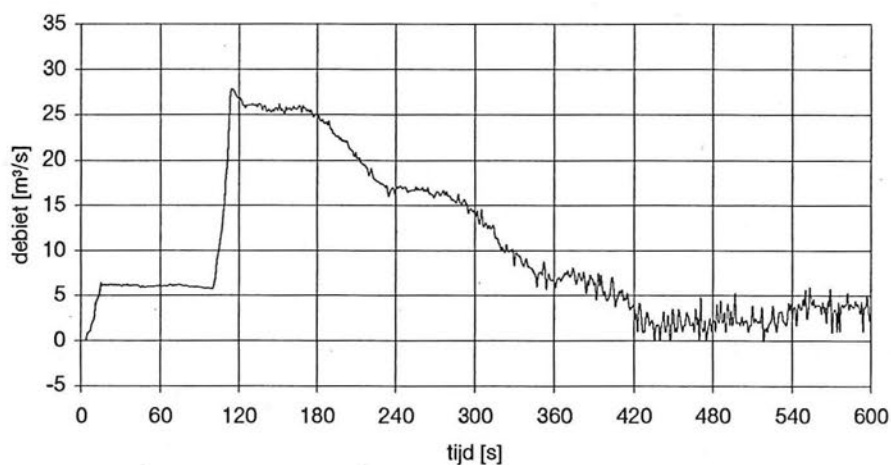
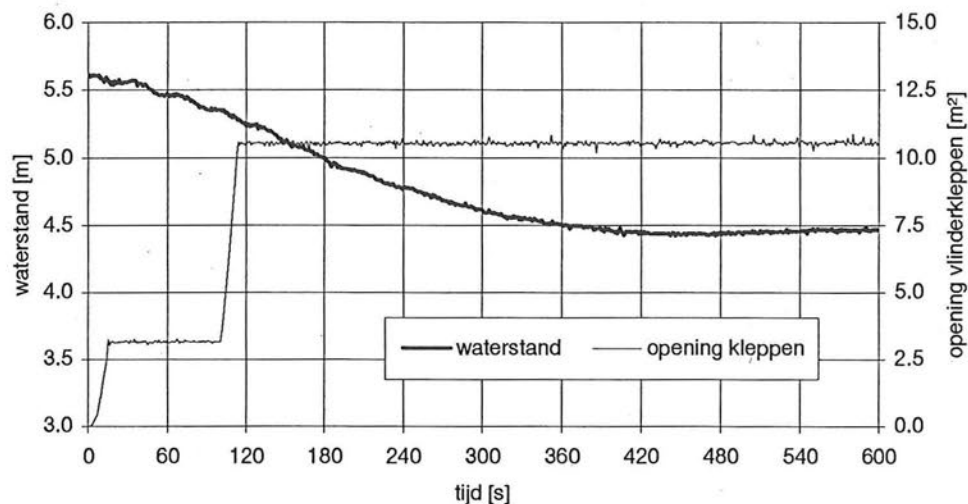




LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B013

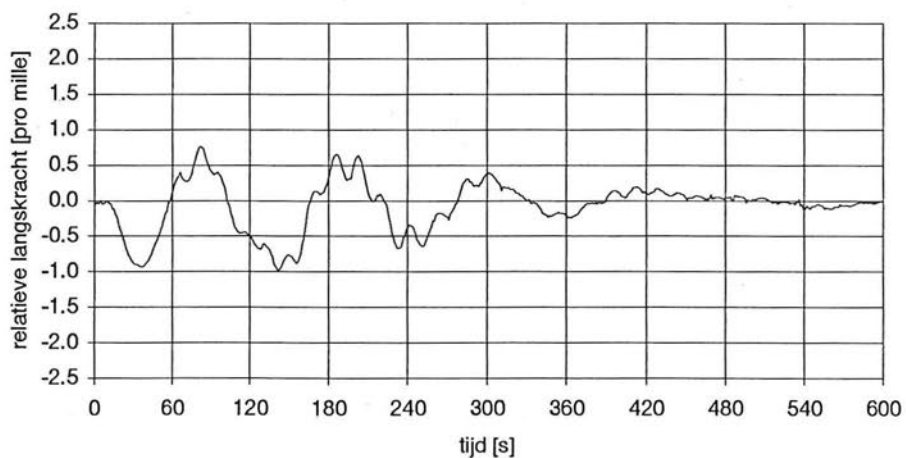
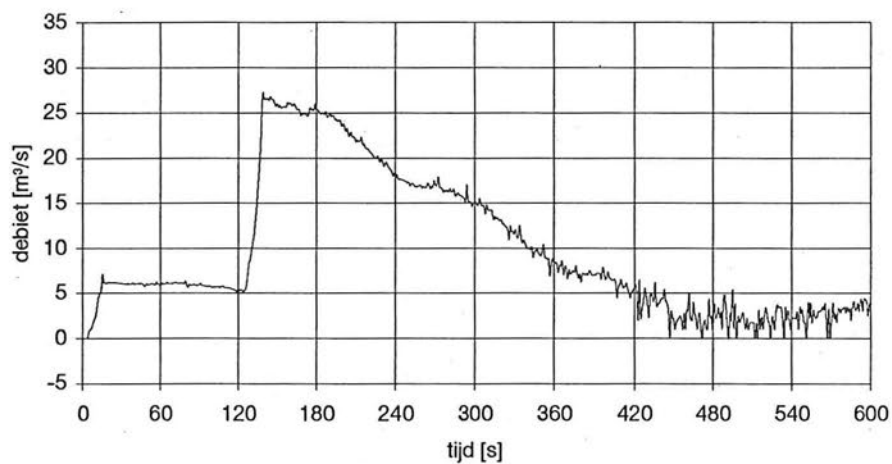
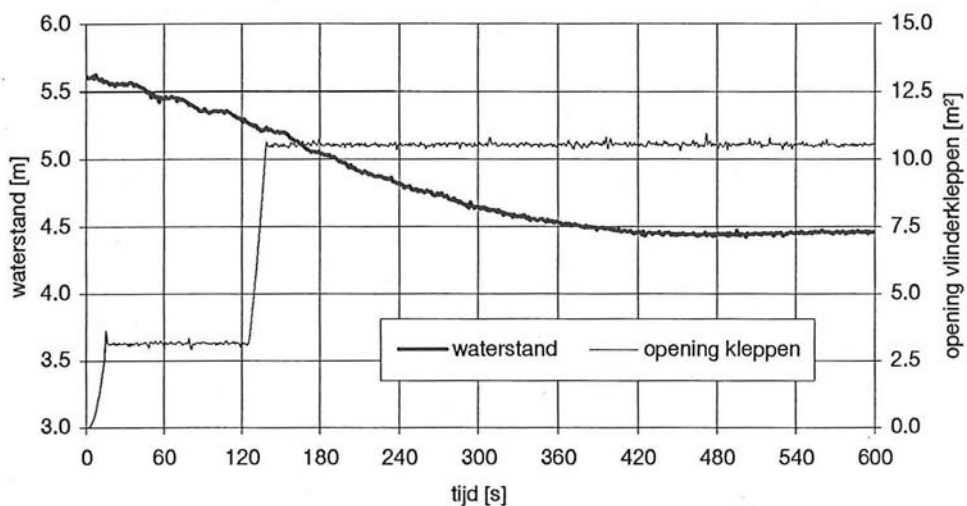


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B014

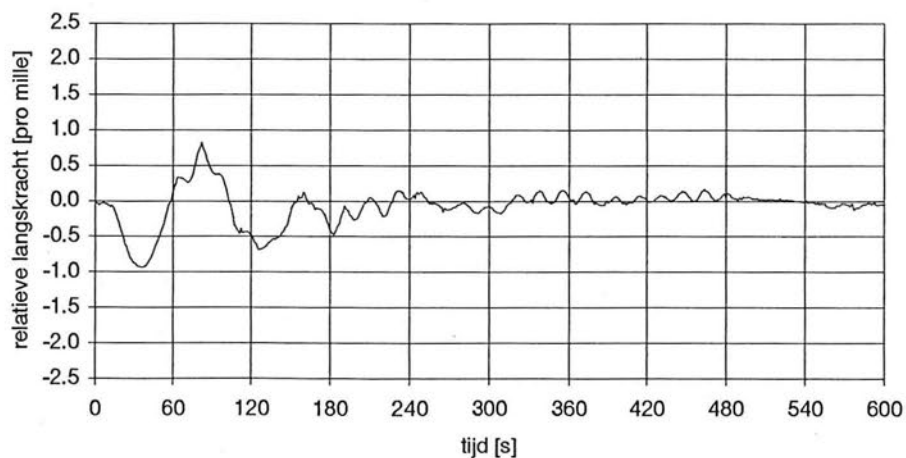
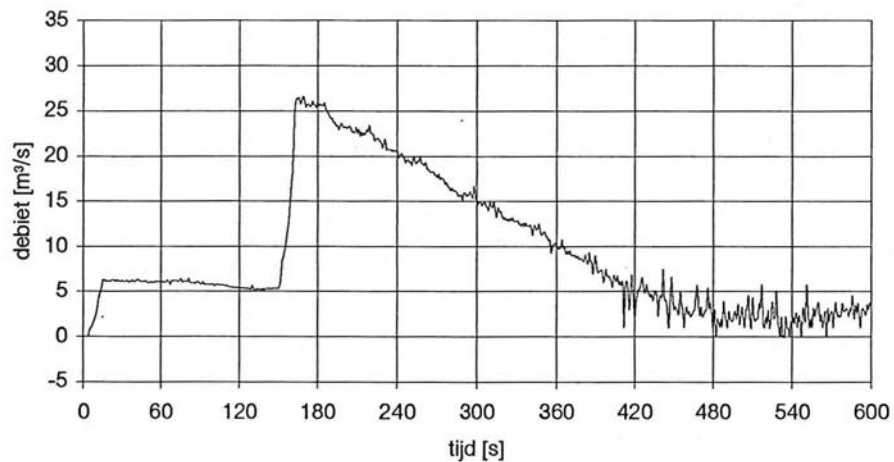
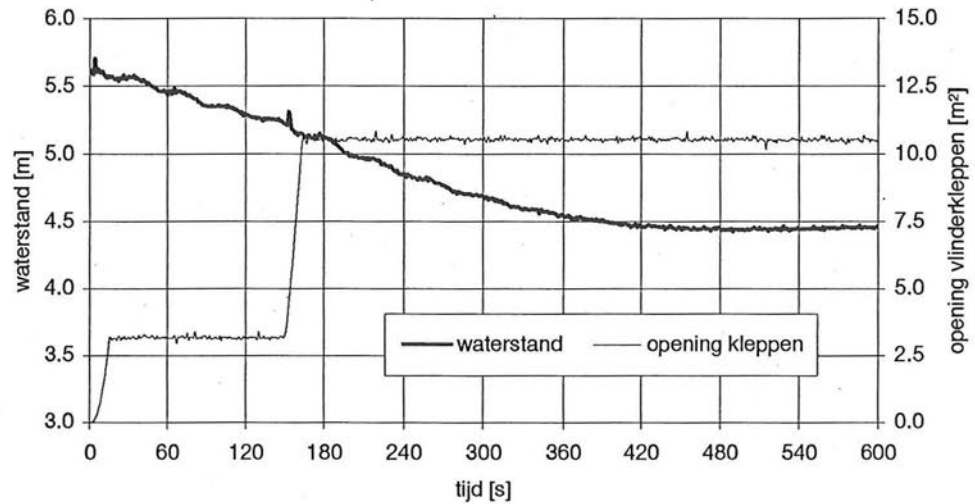




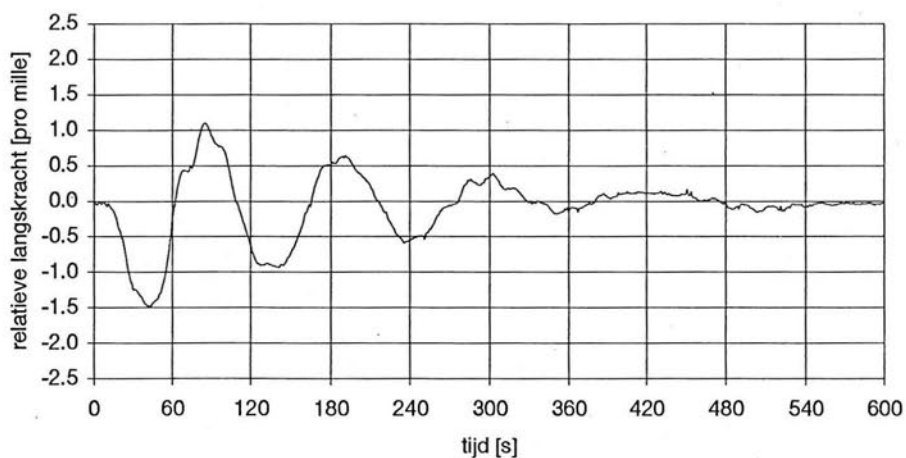
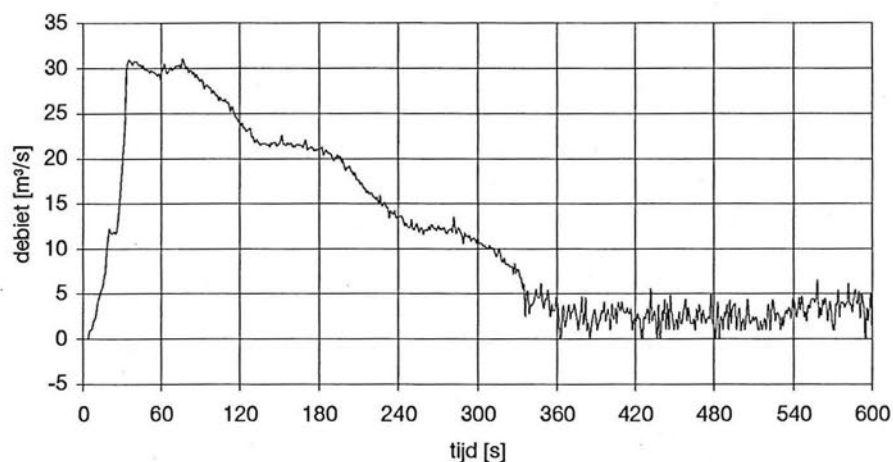
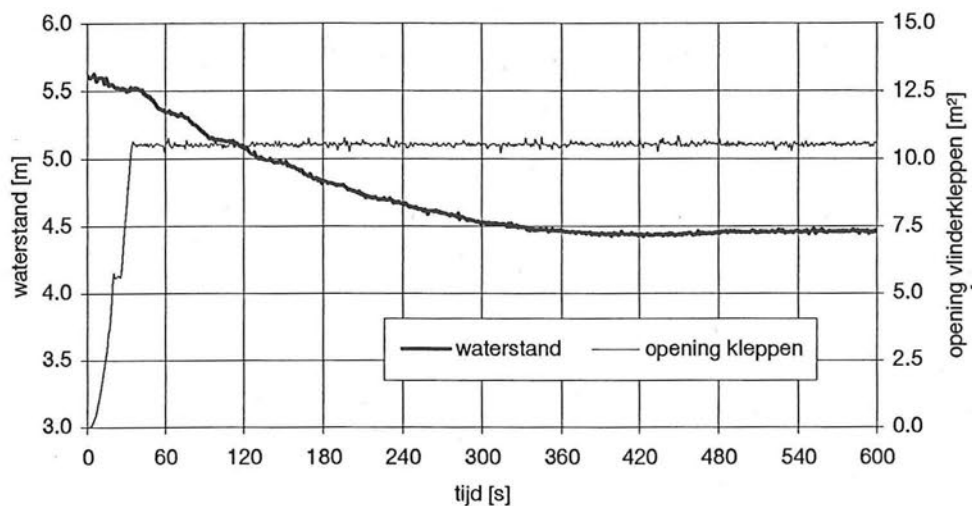
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B015



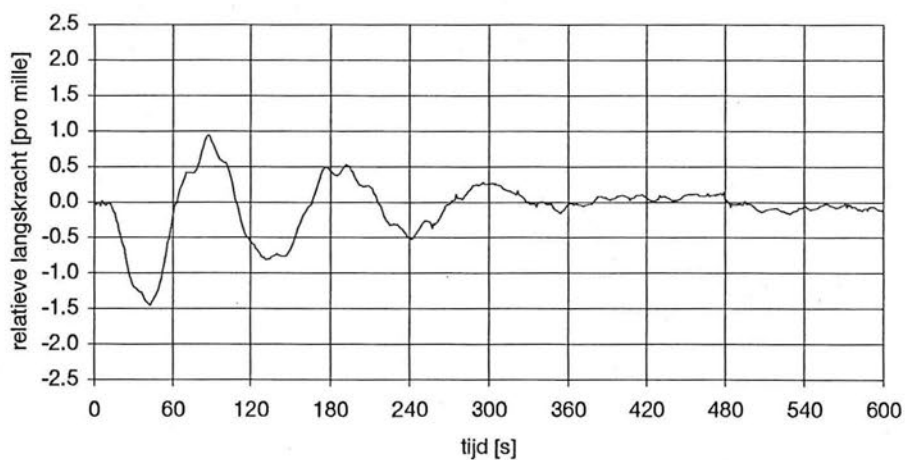
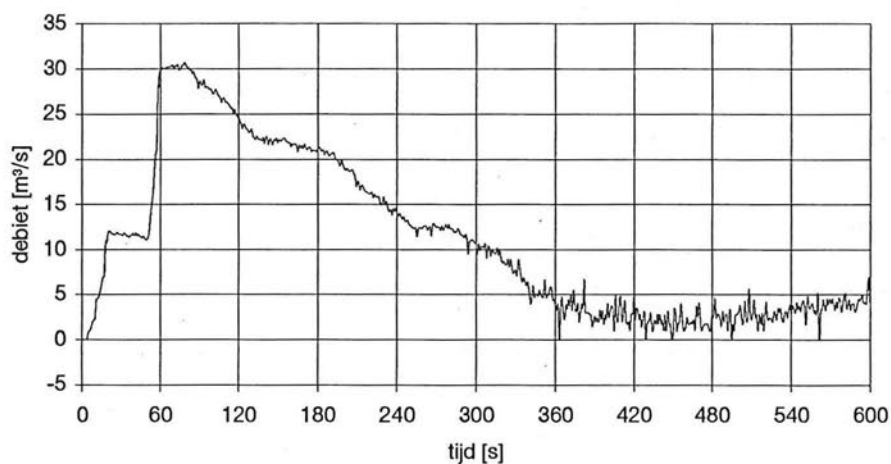
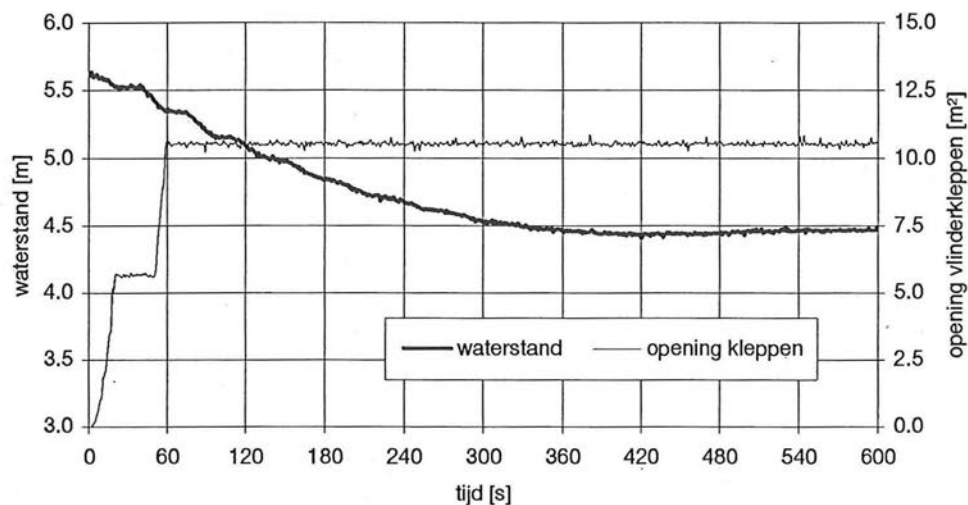
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B016

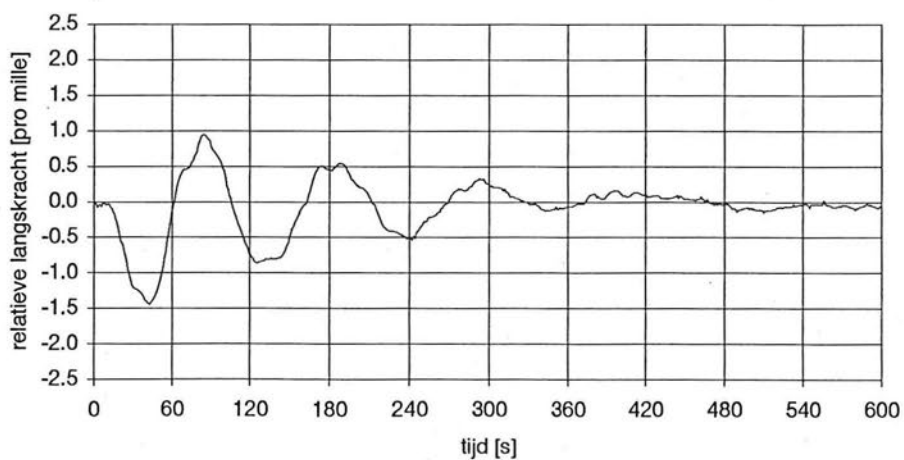
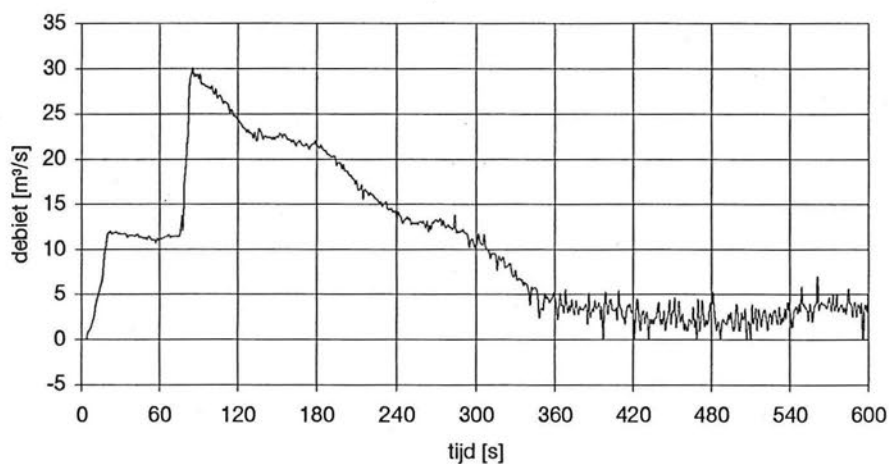
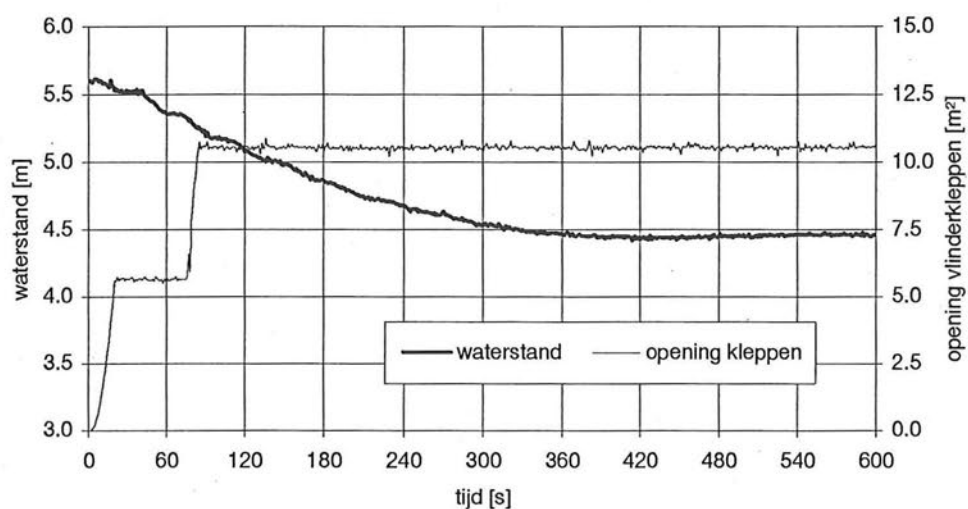


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B017

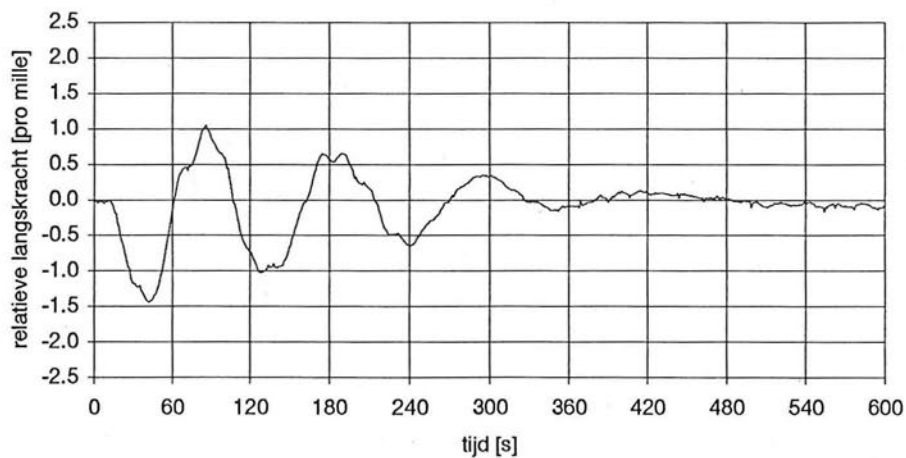
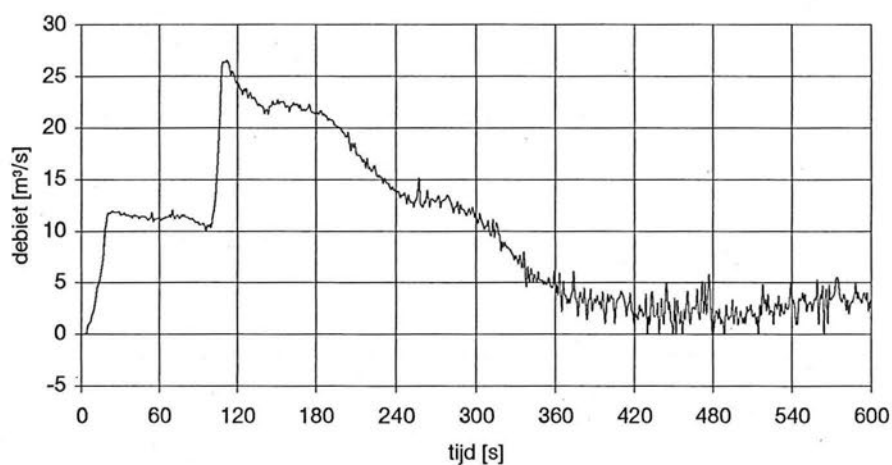
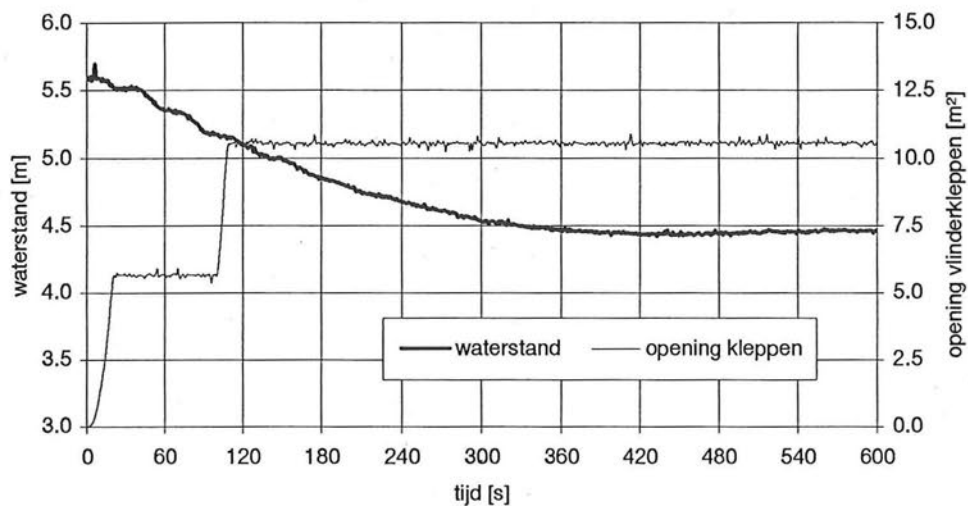


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B018

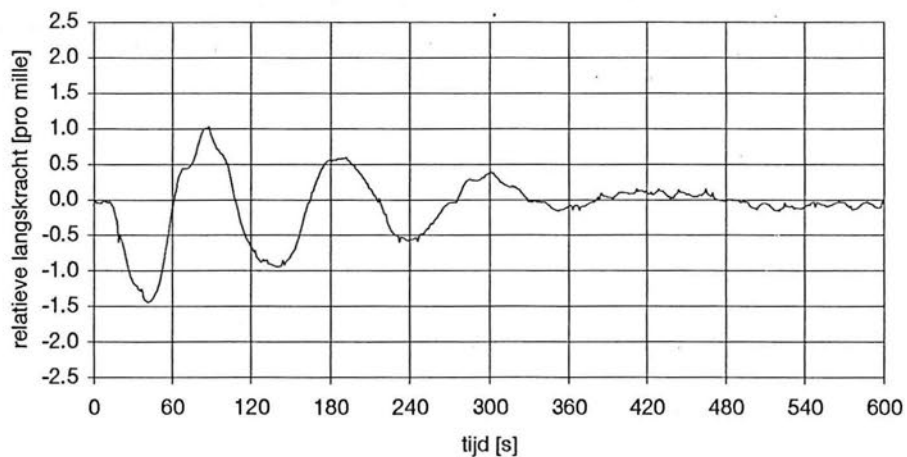
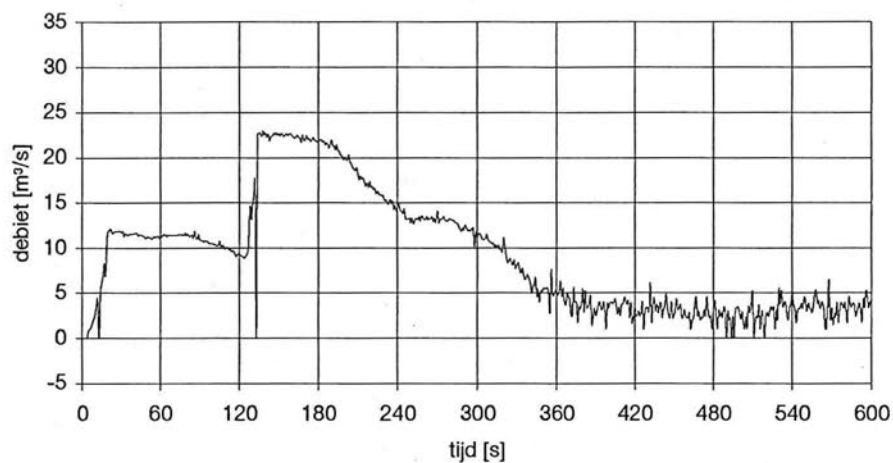
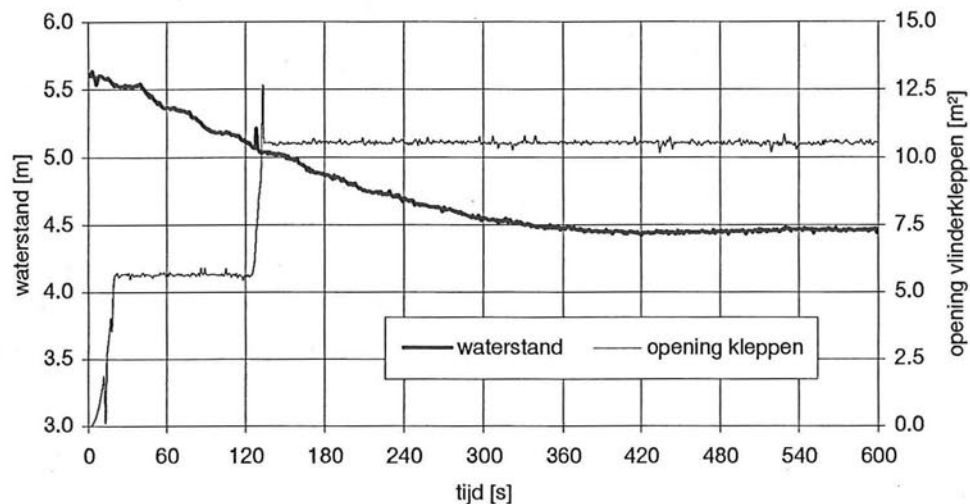


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B019


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B020

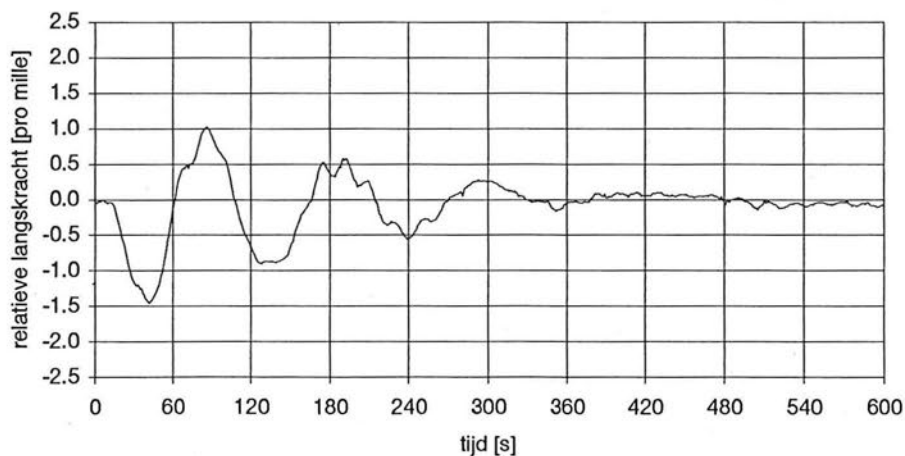
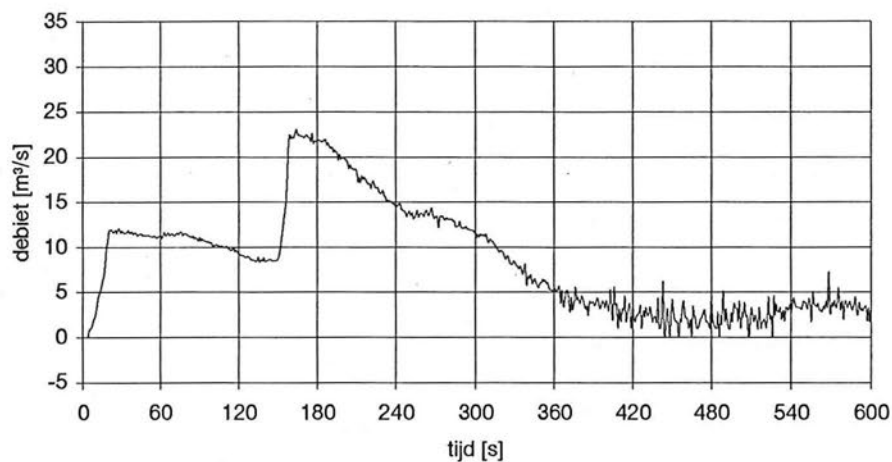
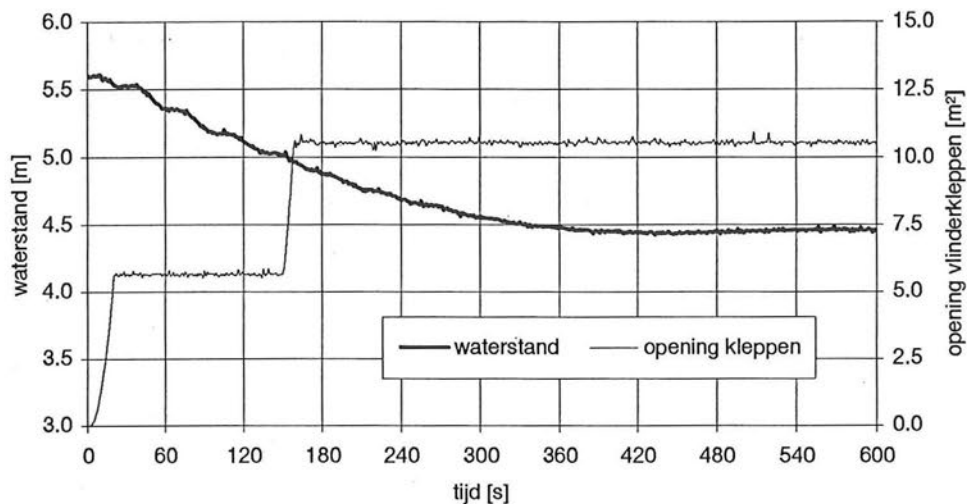


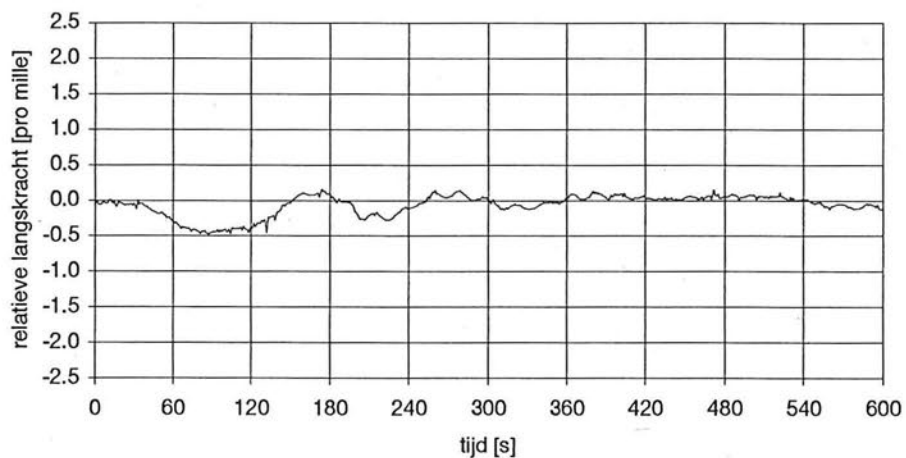
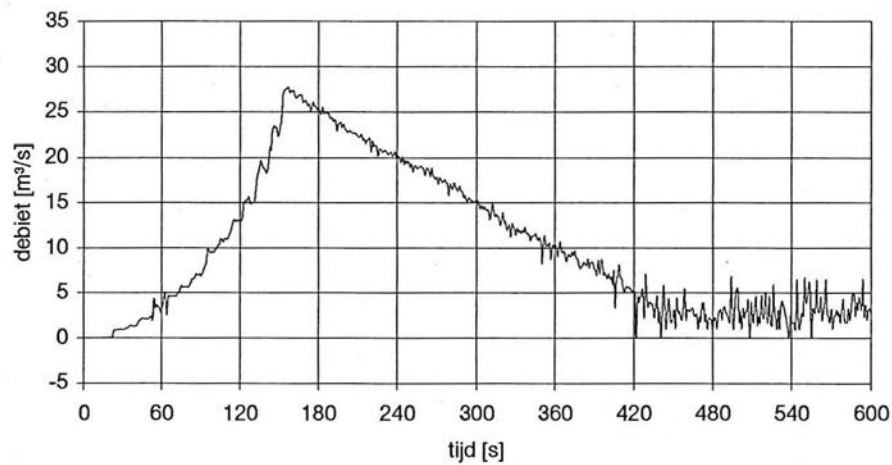
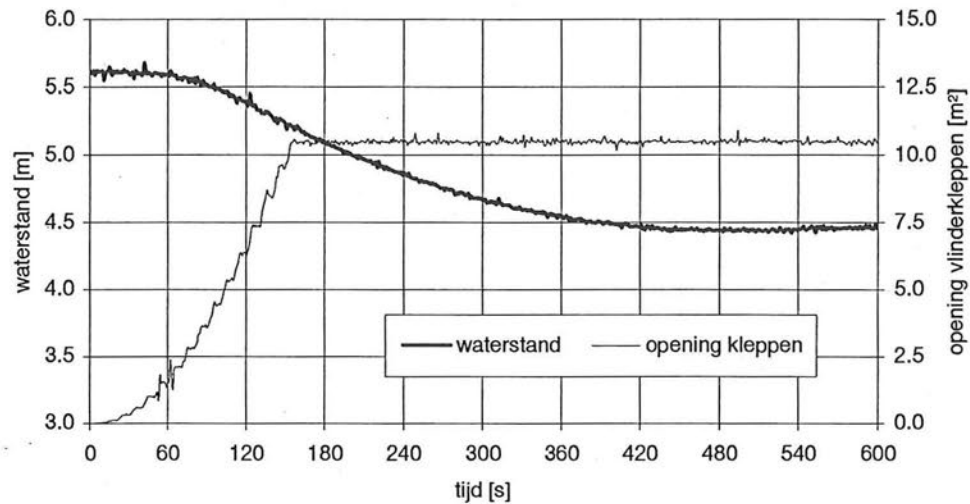
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B021



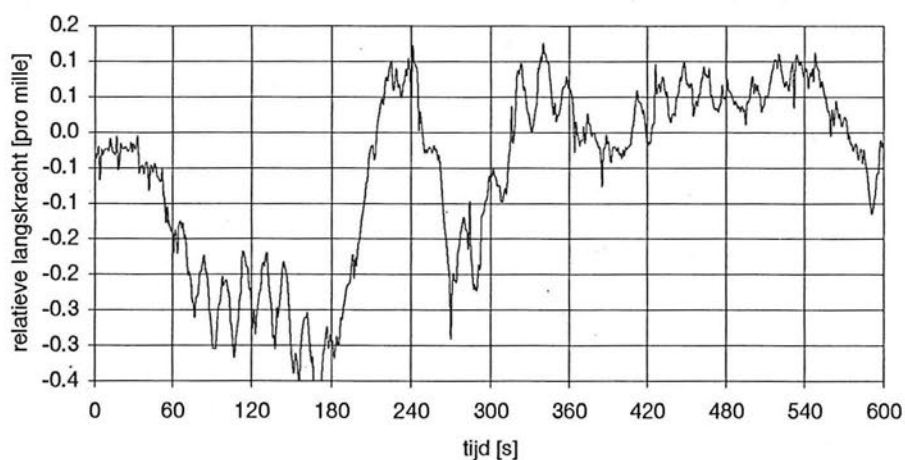
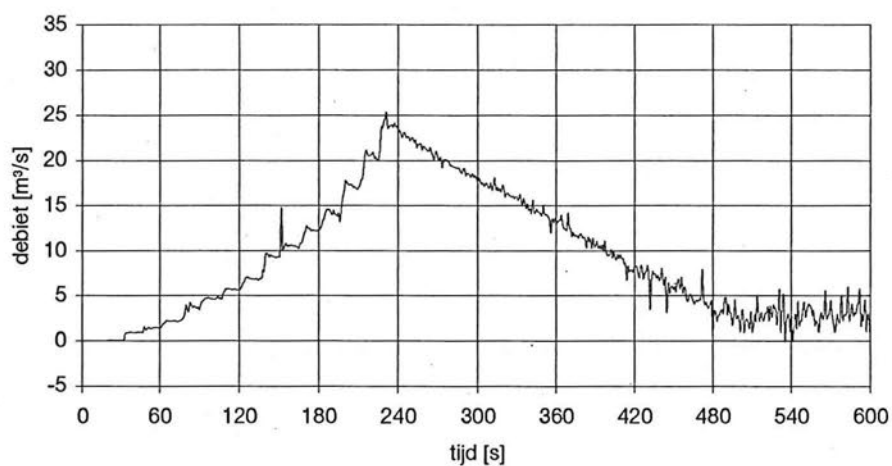
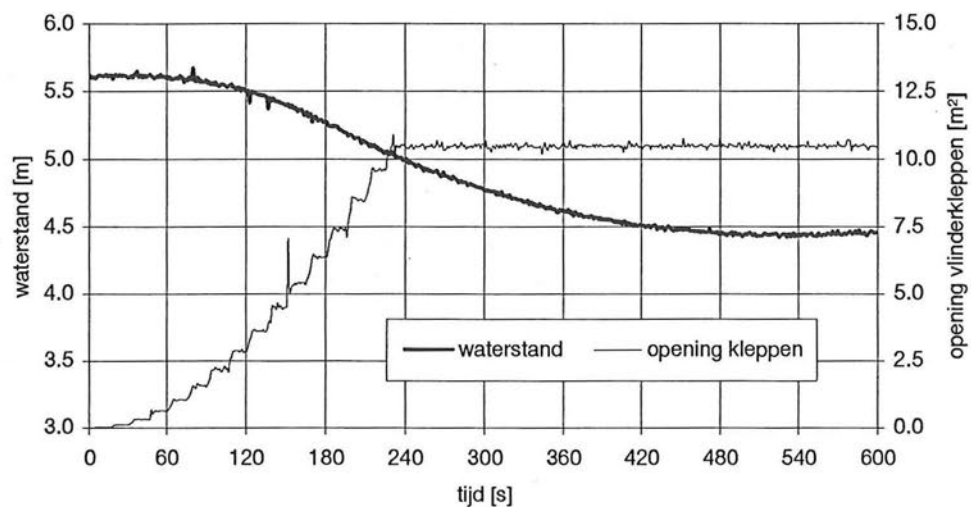


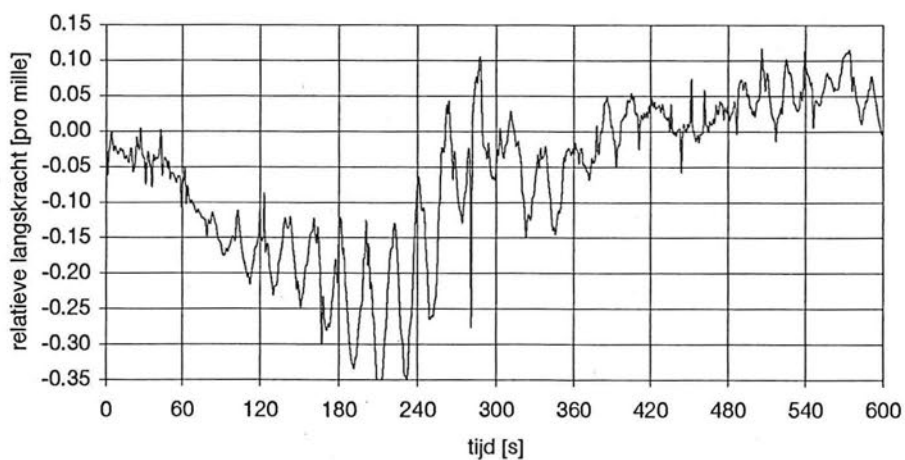
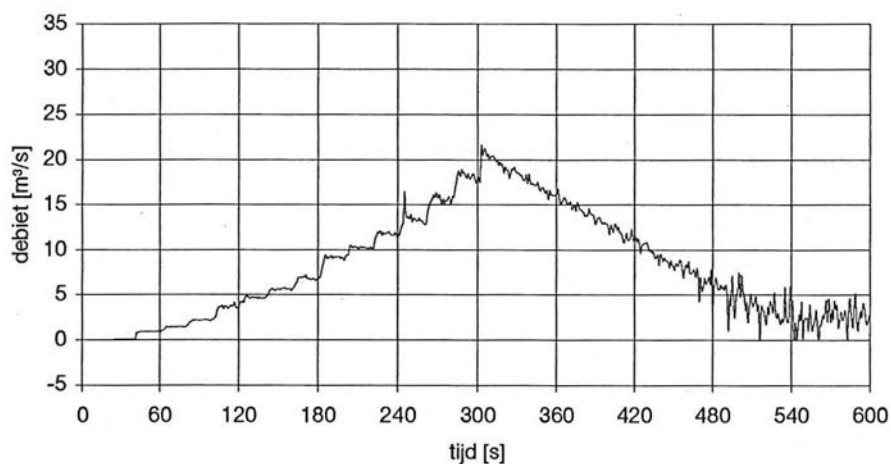
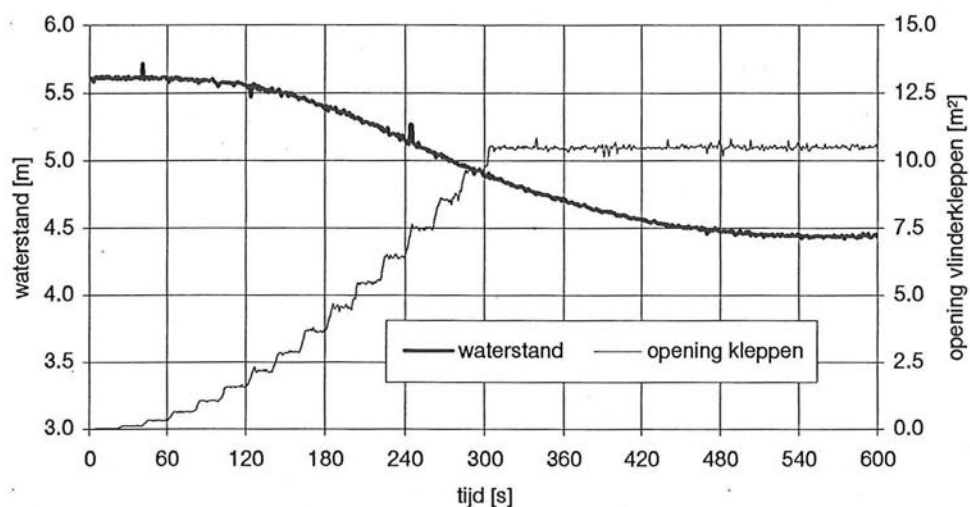
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B022

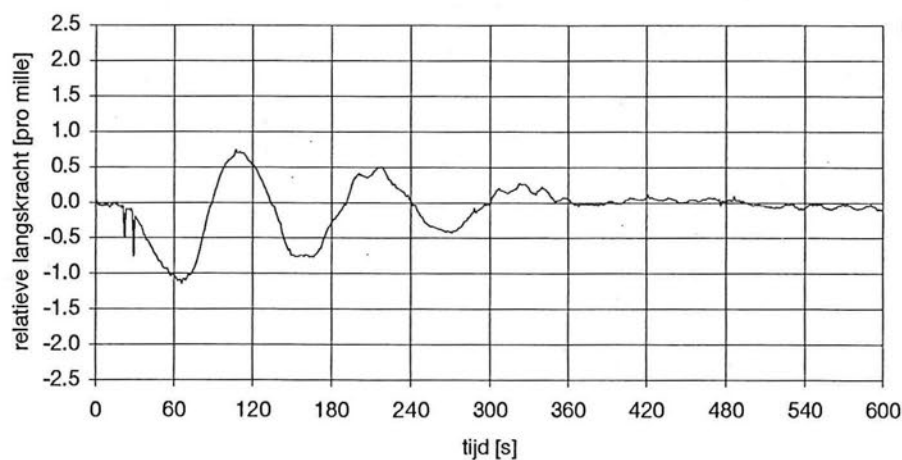
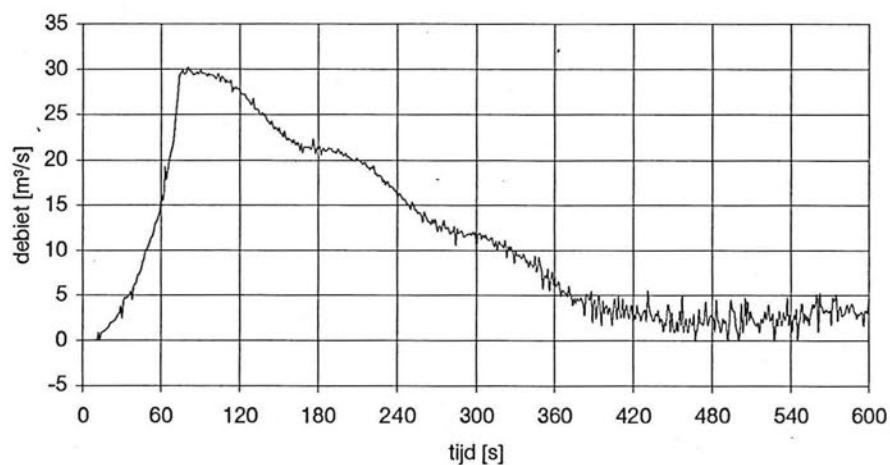
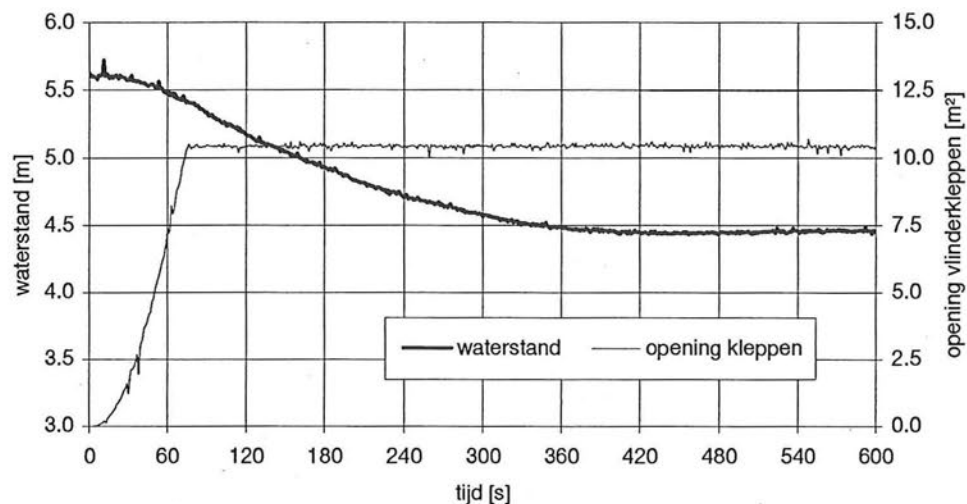


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B023


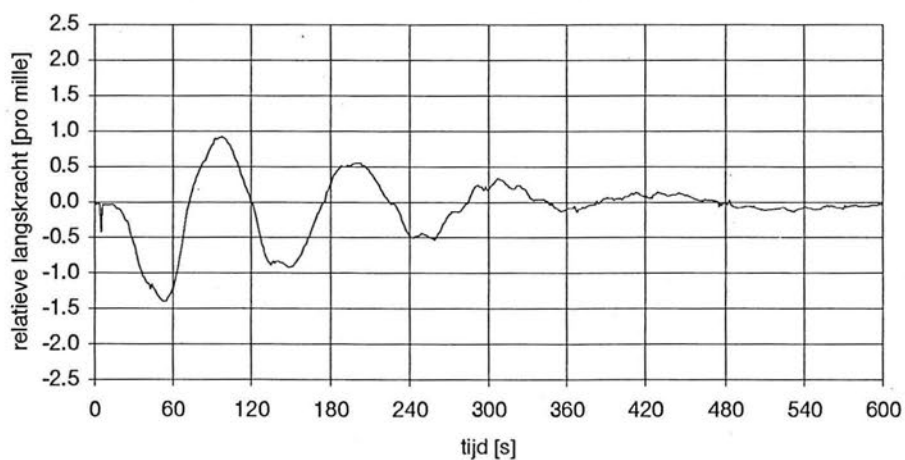
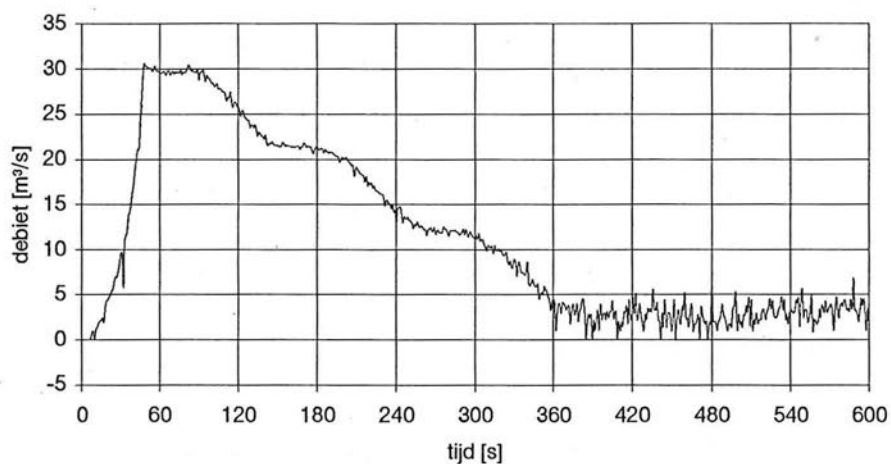
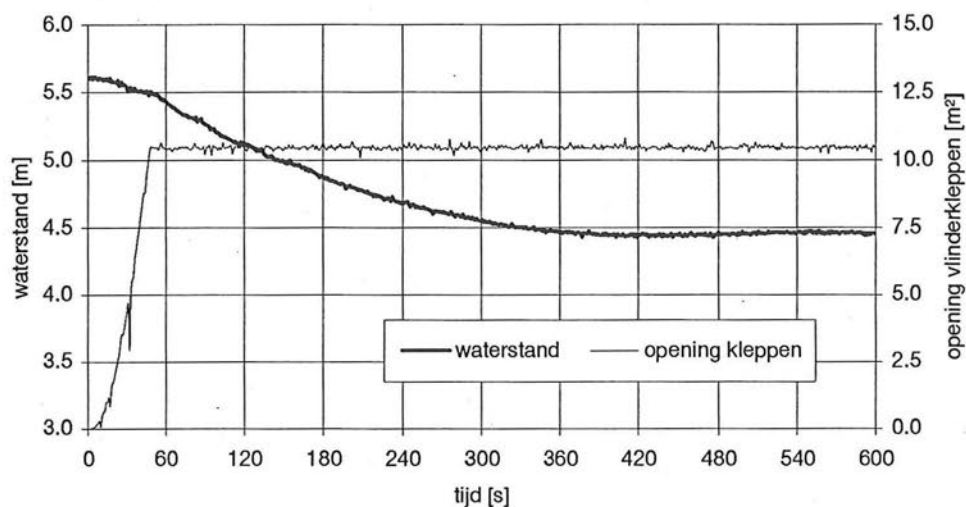
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B024



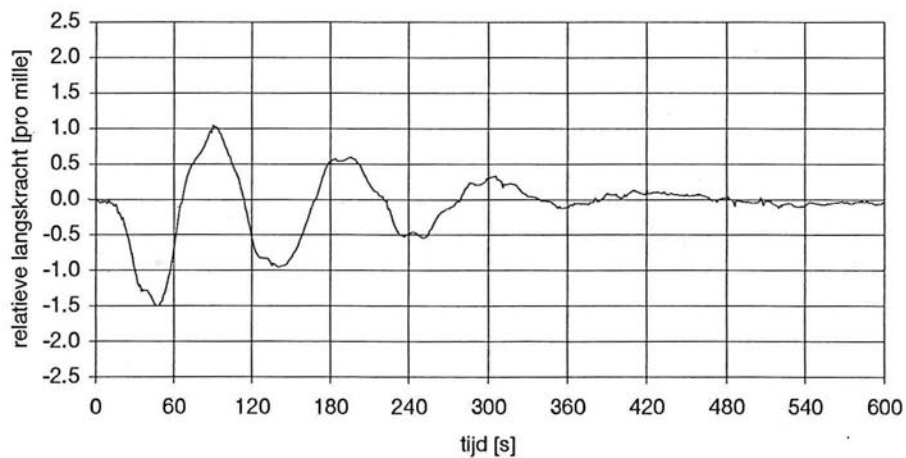
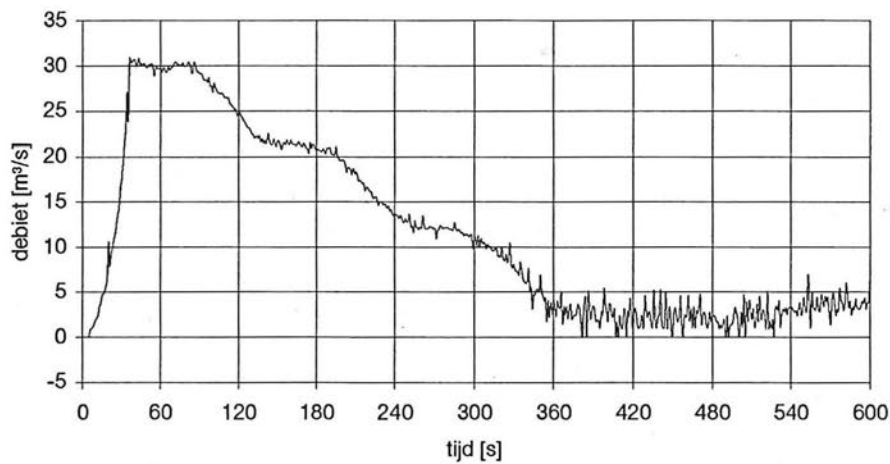
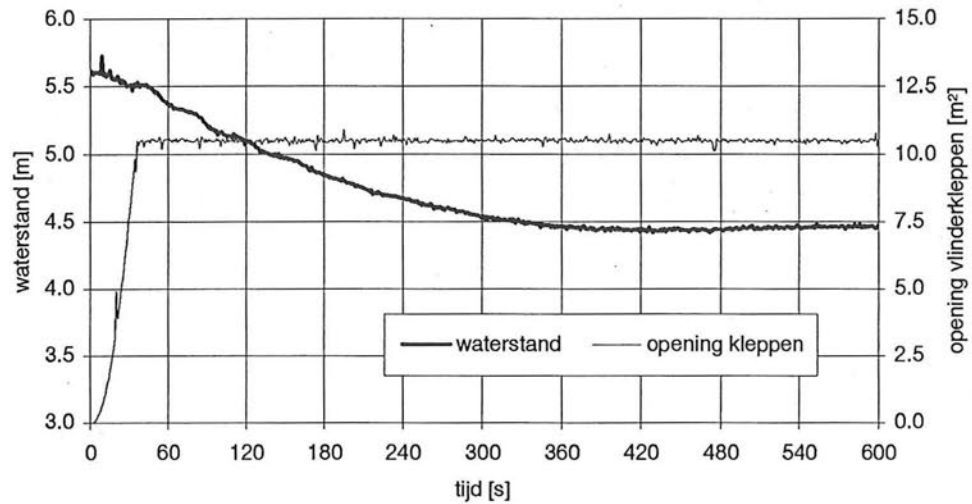
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B025


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B001


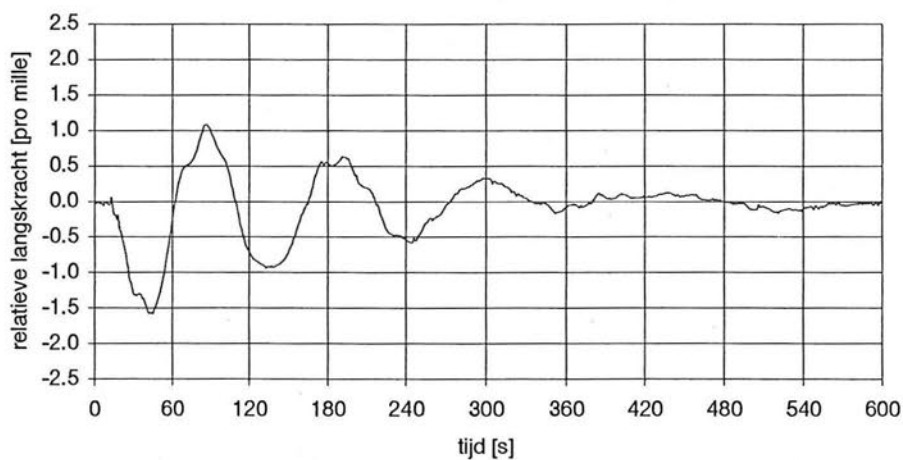
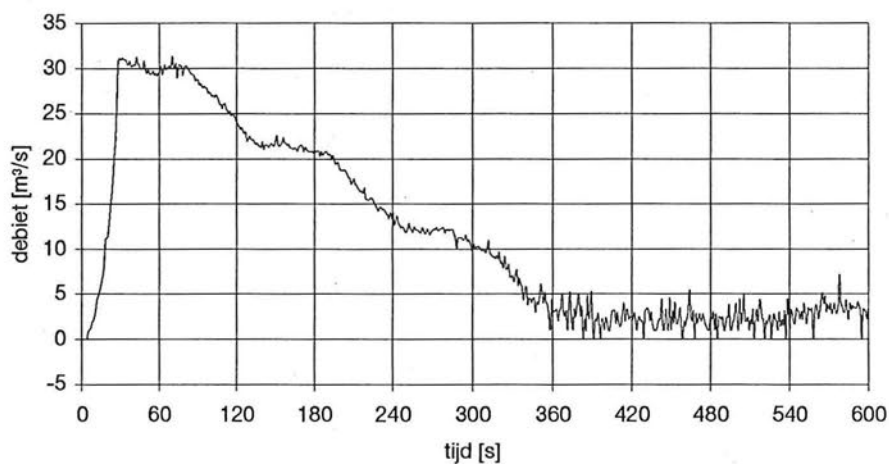
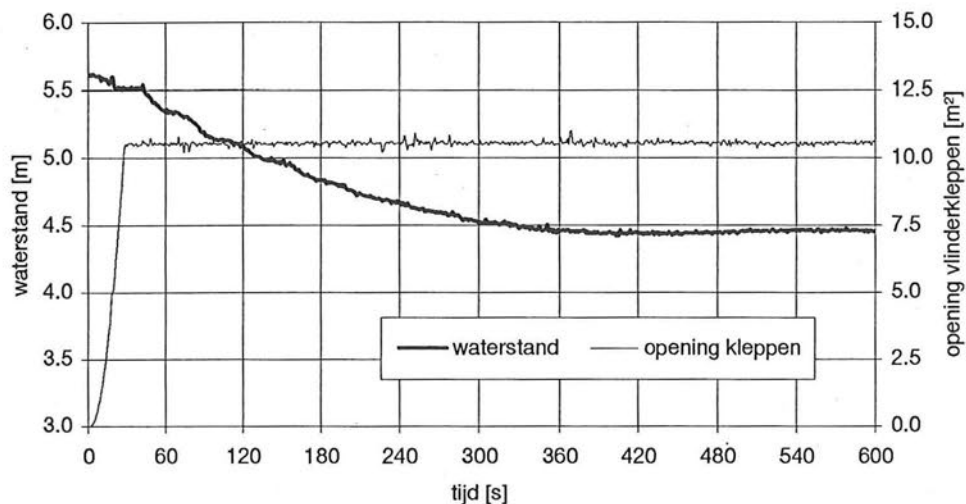
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B002



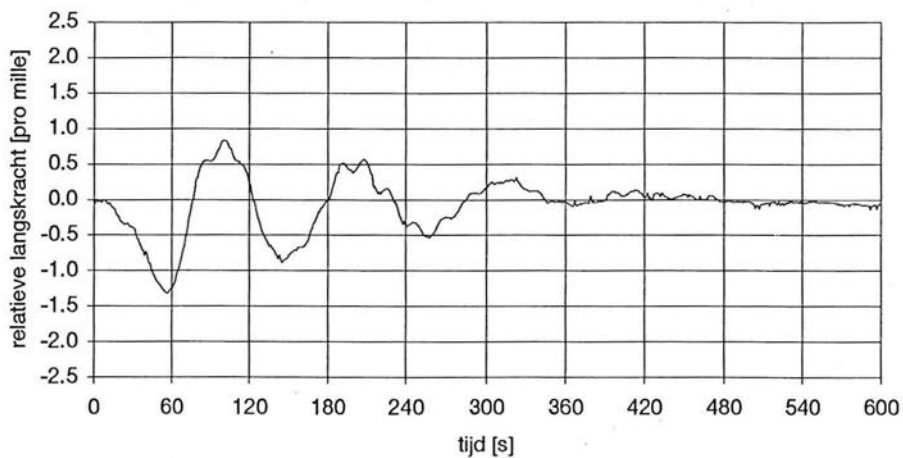
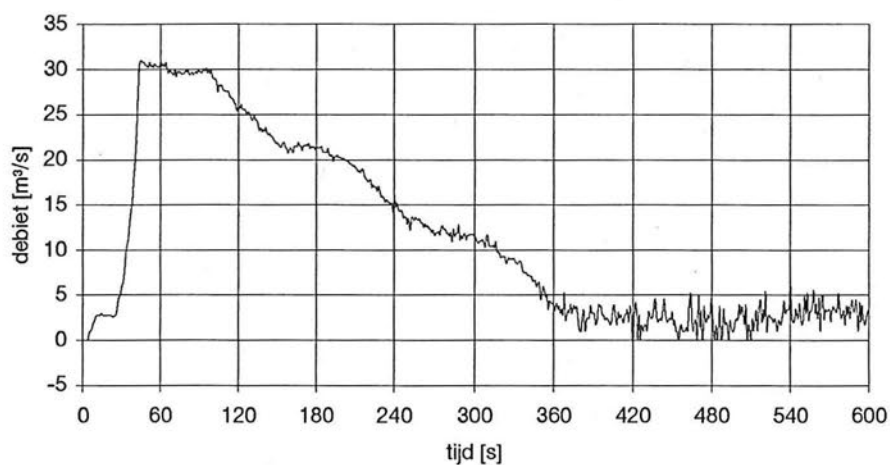
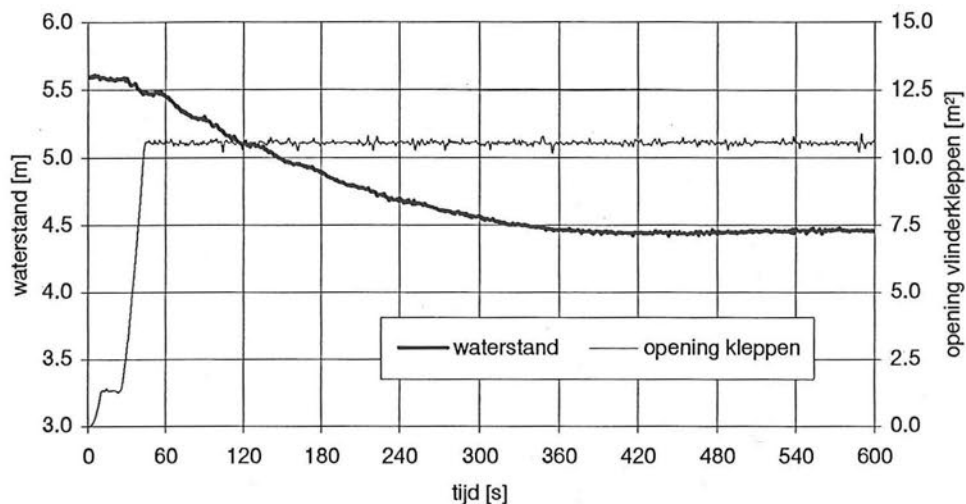
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B003



LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B004

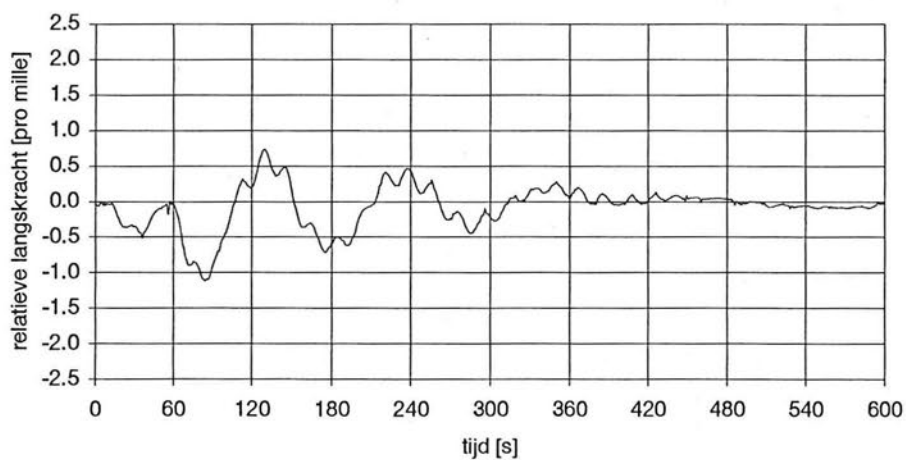
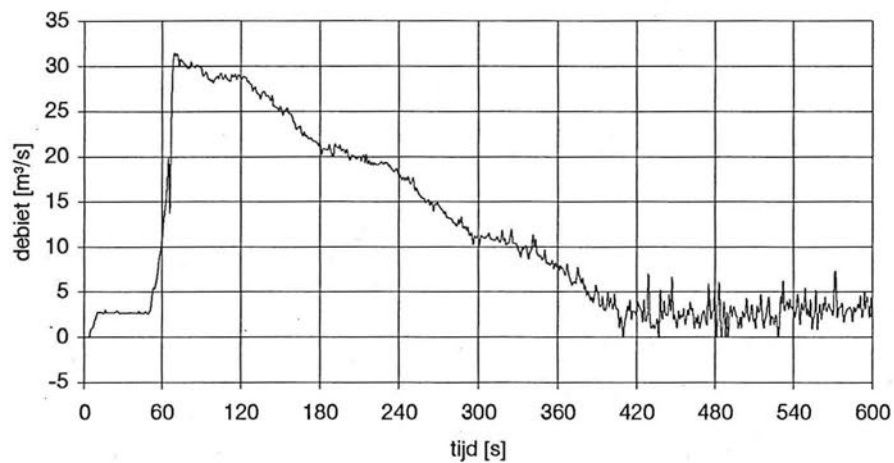
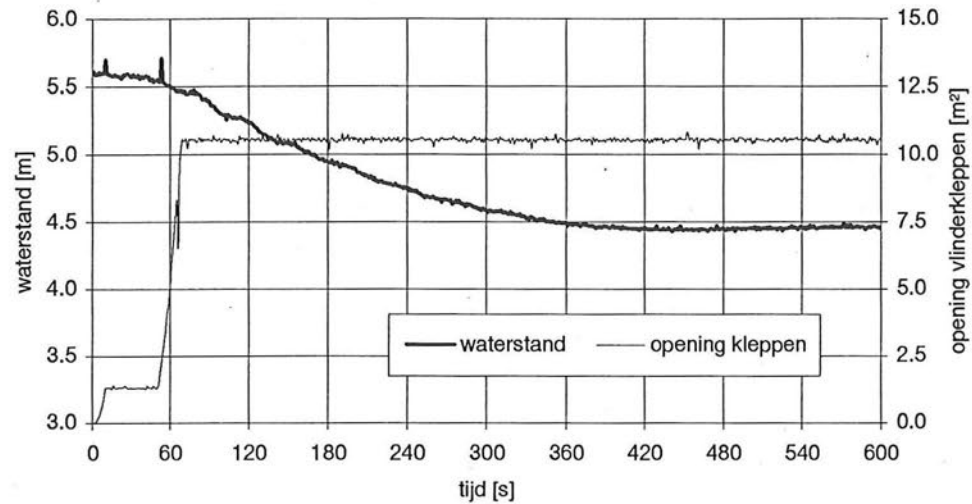


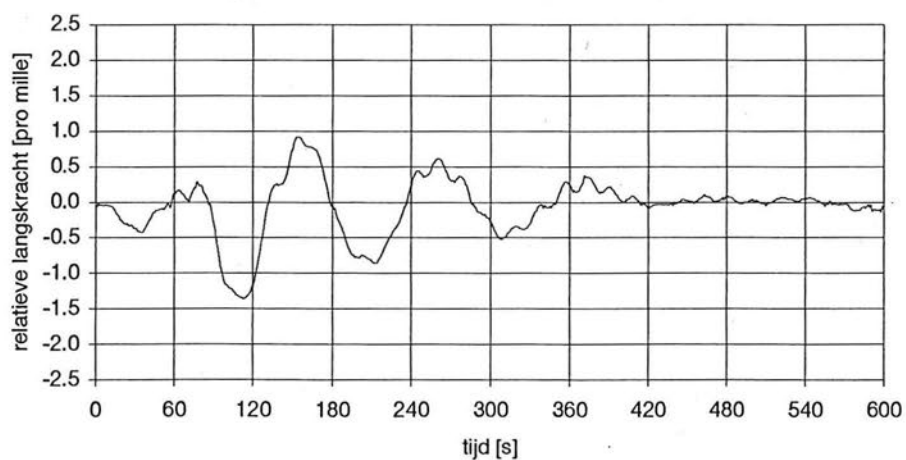
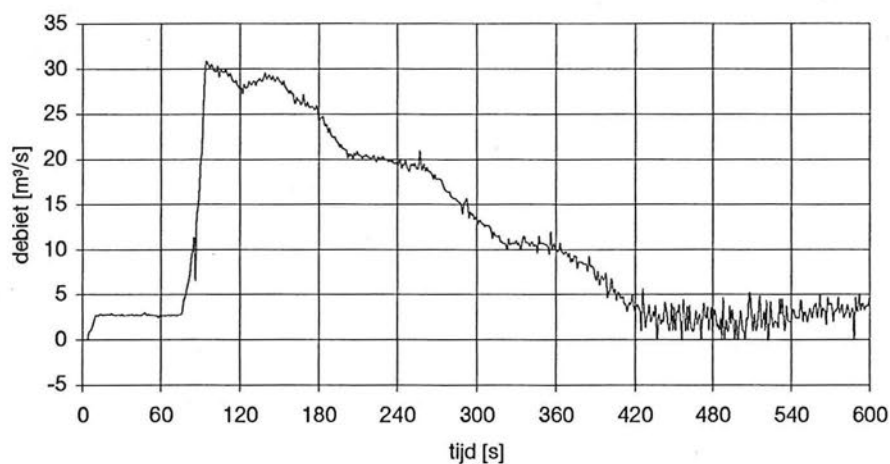
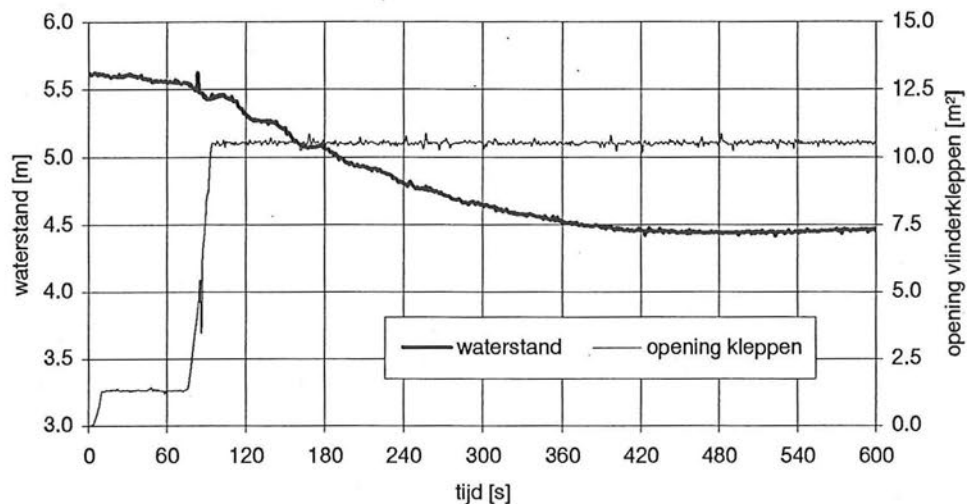
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B005



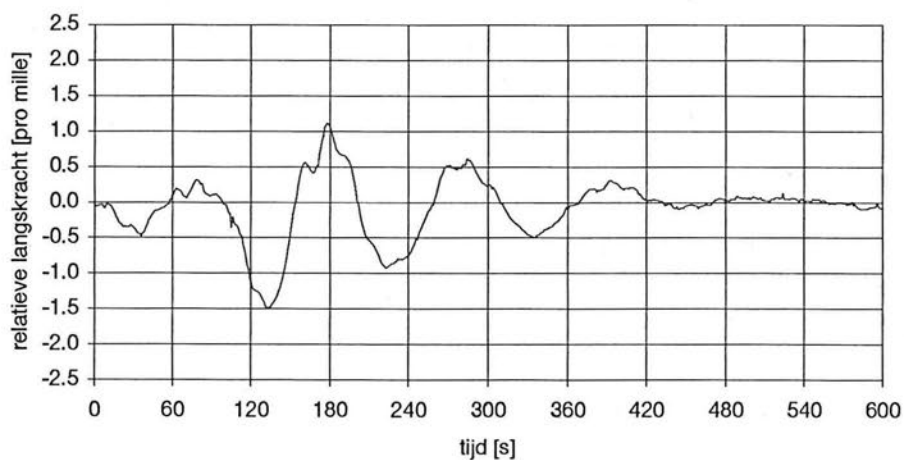
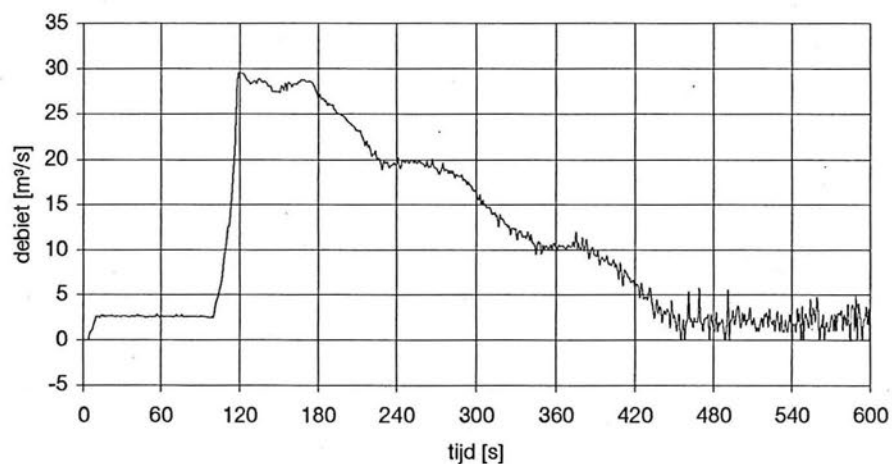
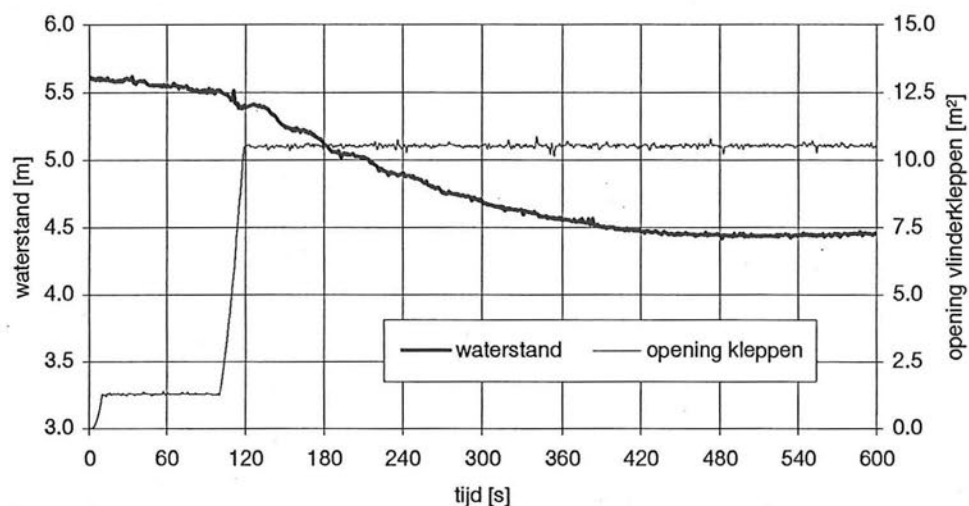


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B006



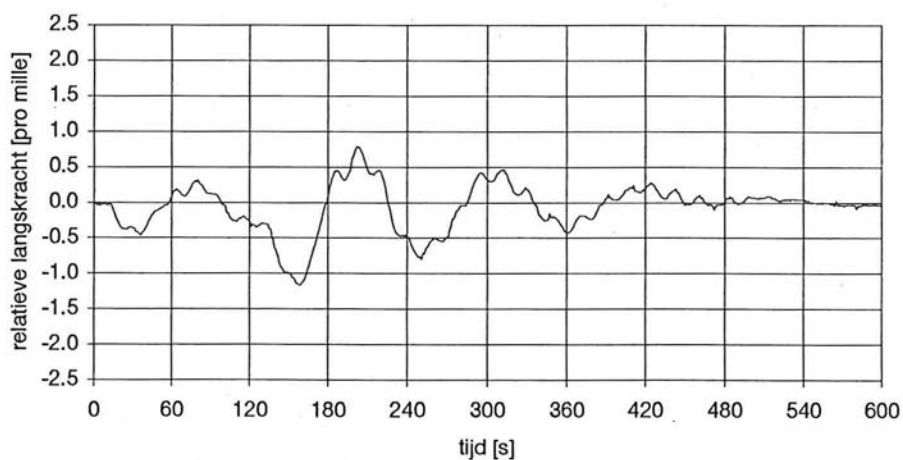
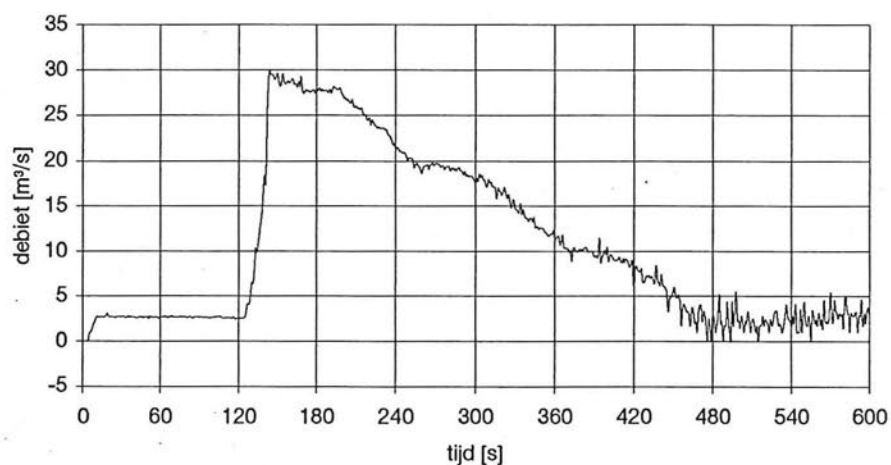
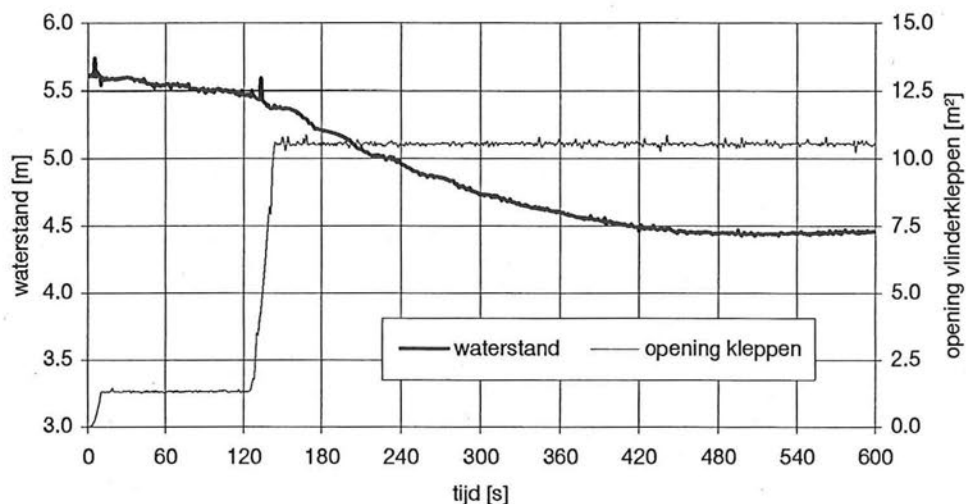
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B007


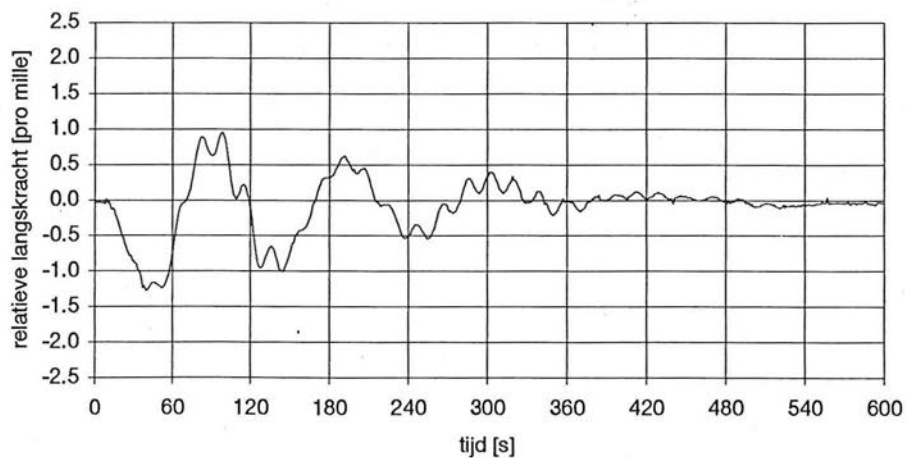
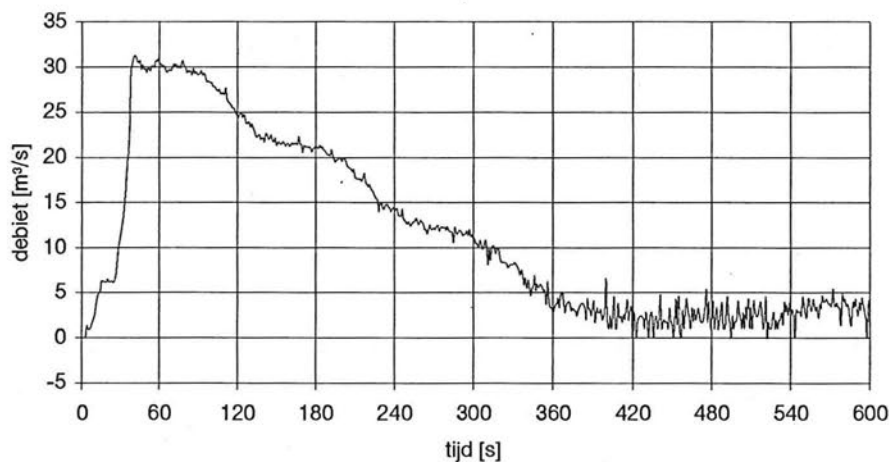
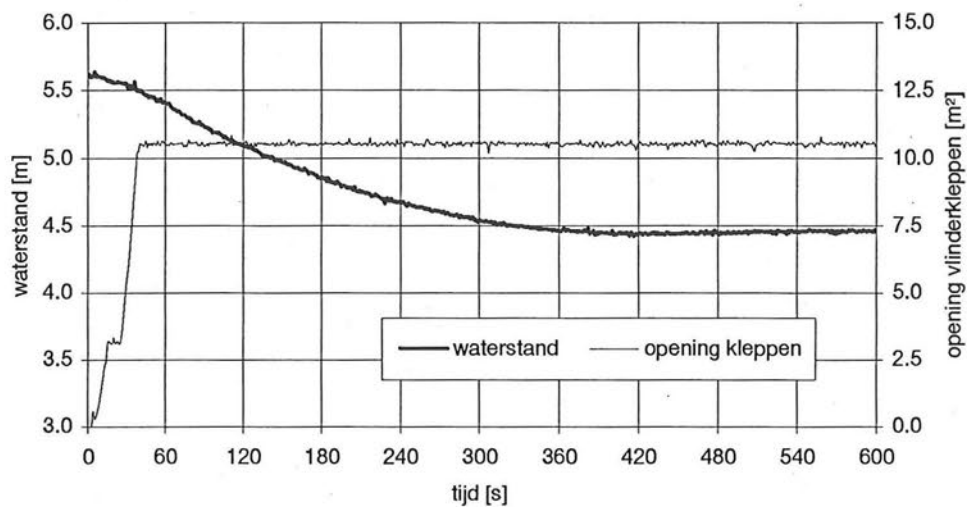
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B008



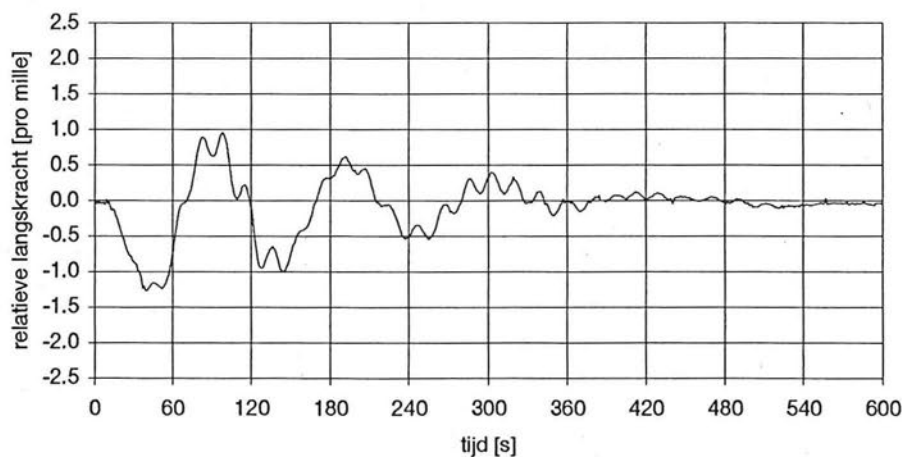
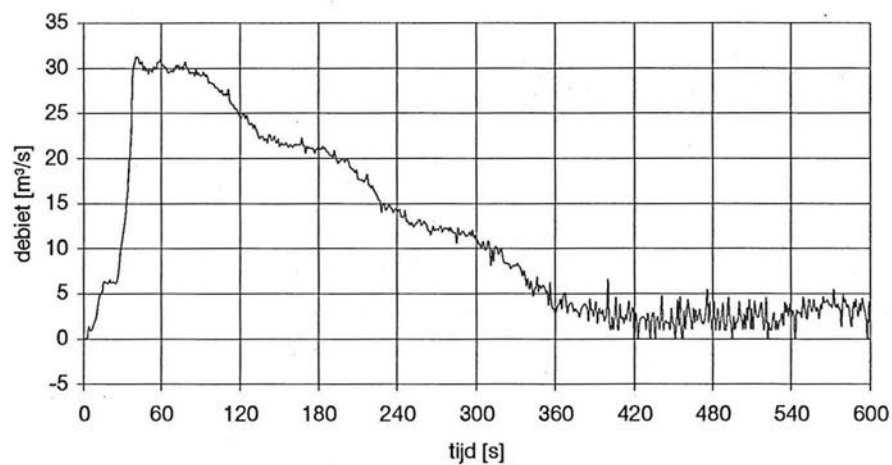
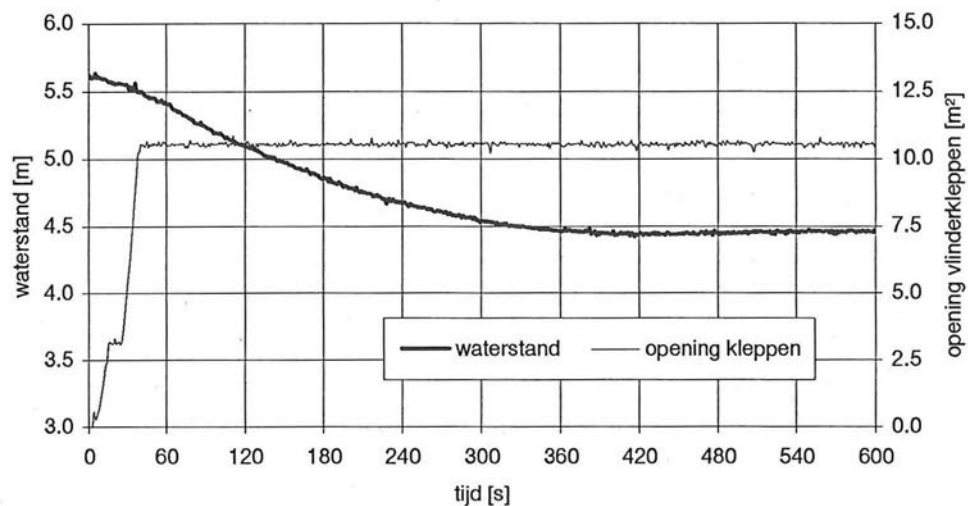


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B009

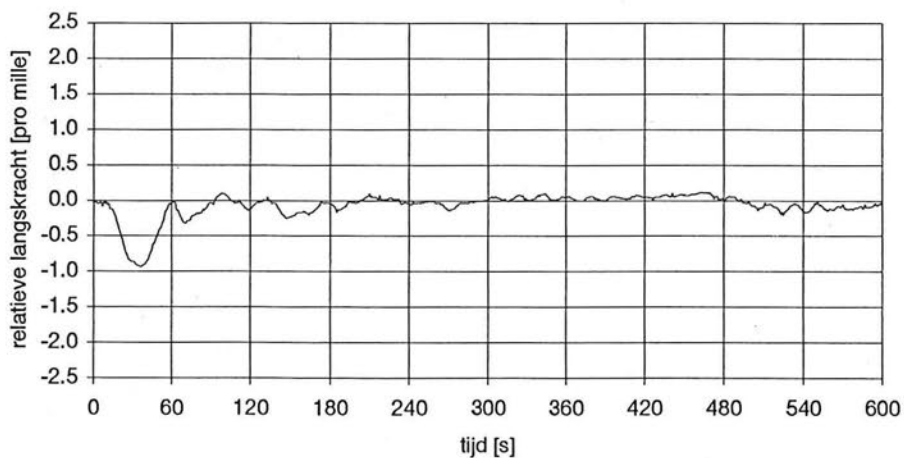
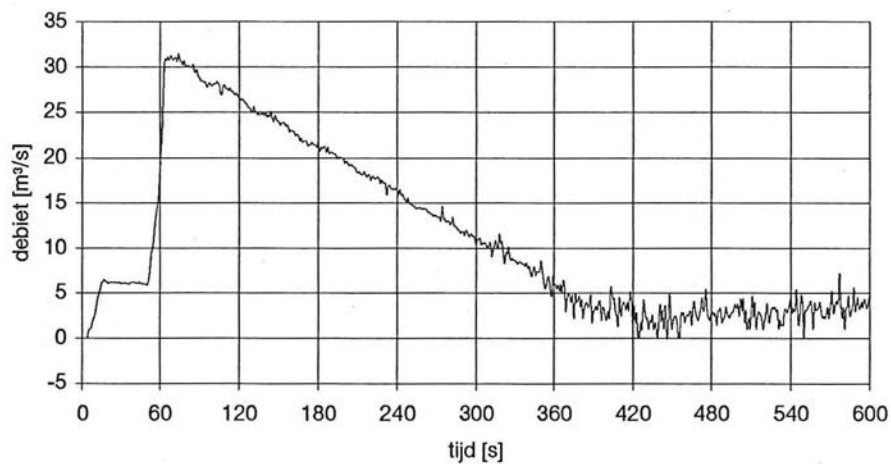
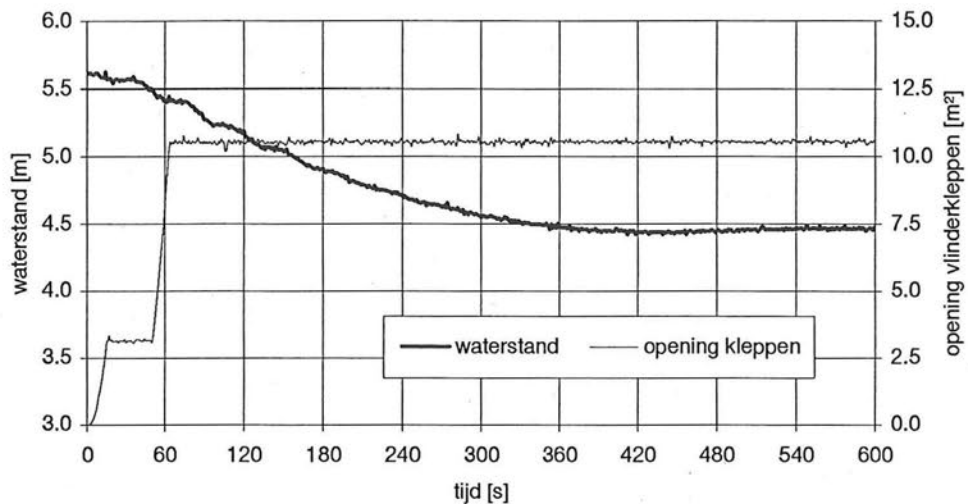


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B010


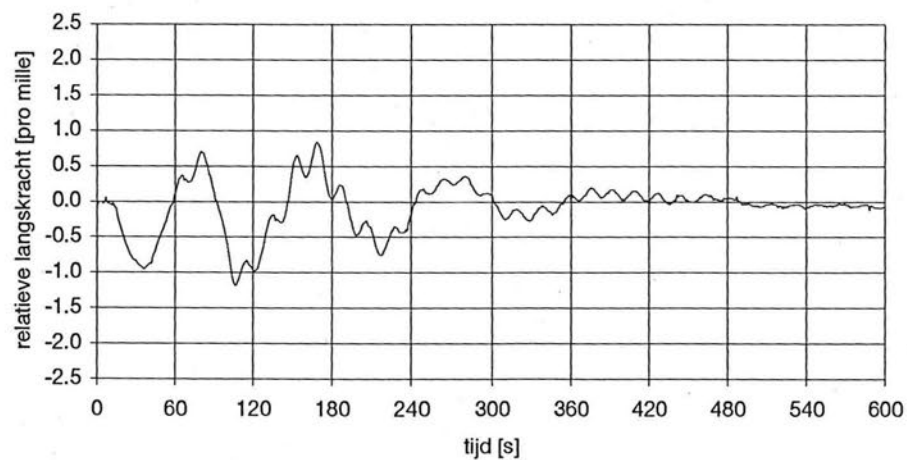
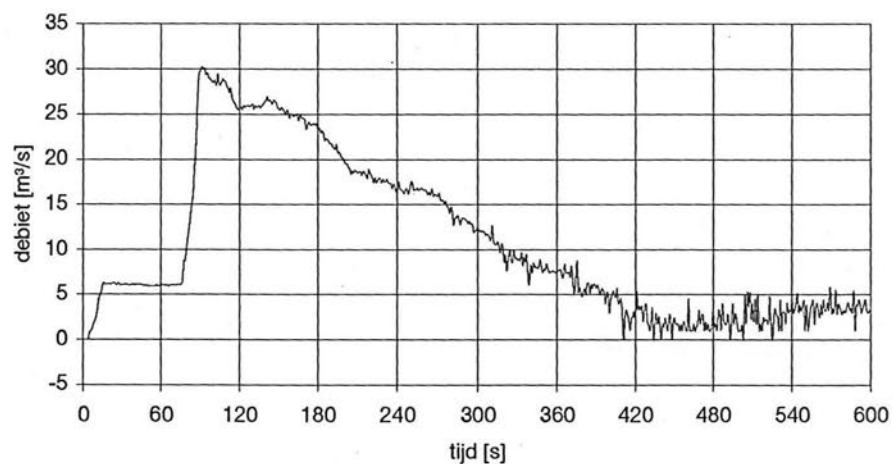
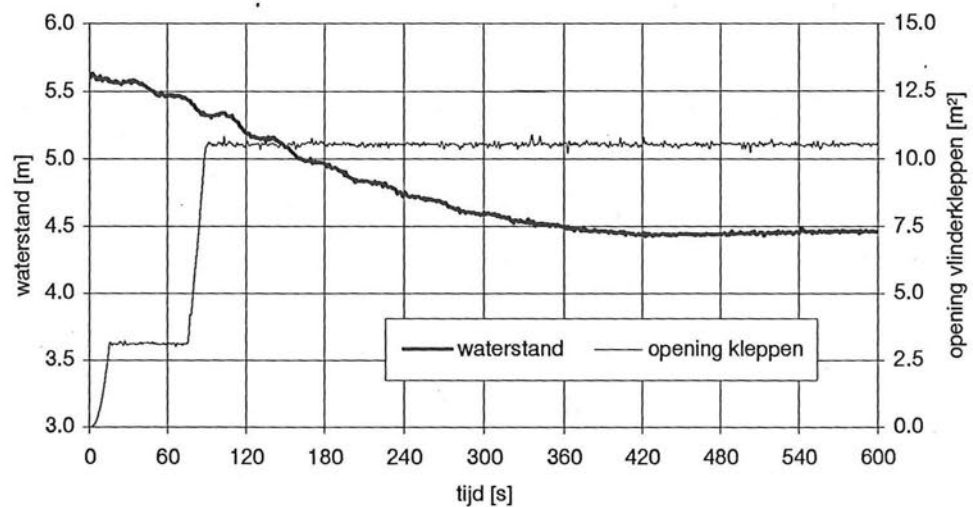
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B011

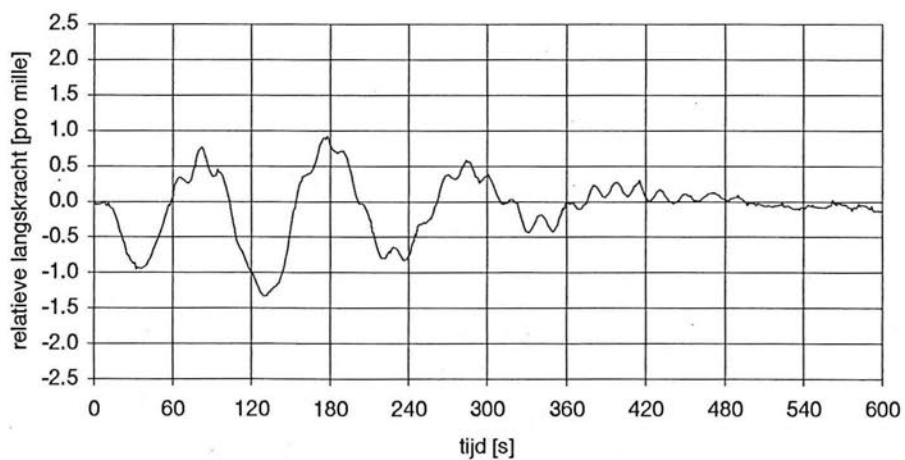
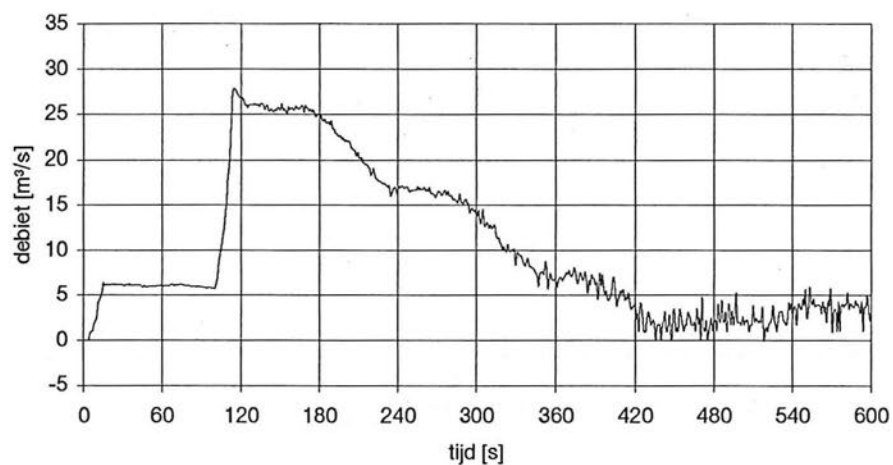
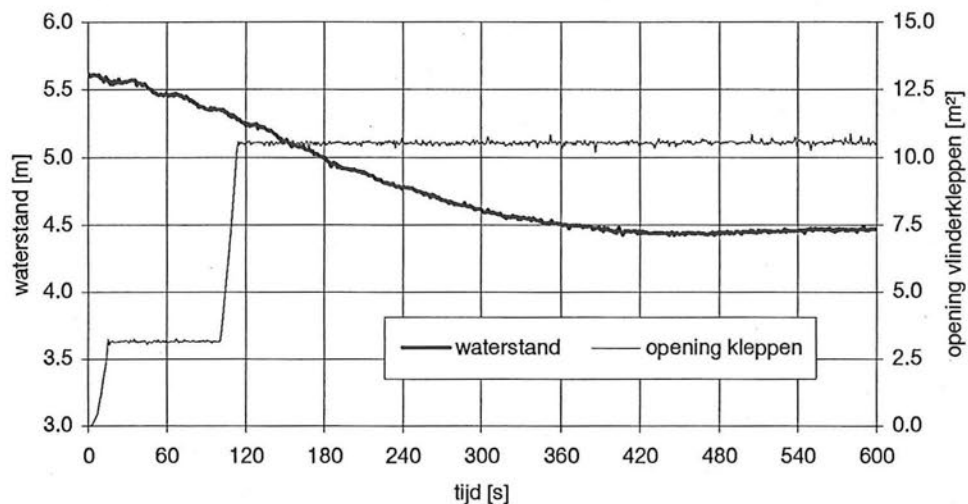


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B012

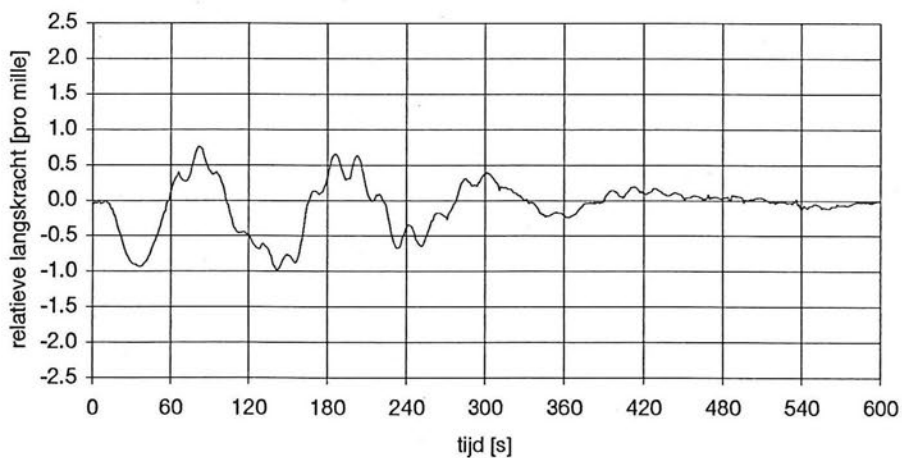
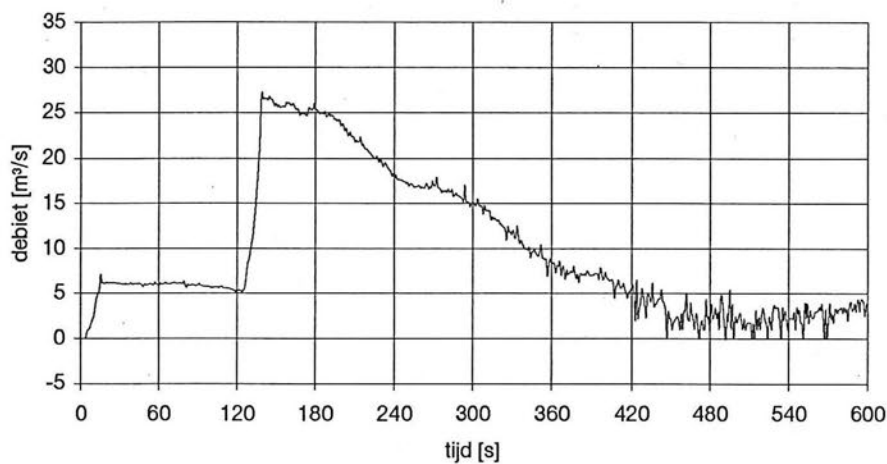
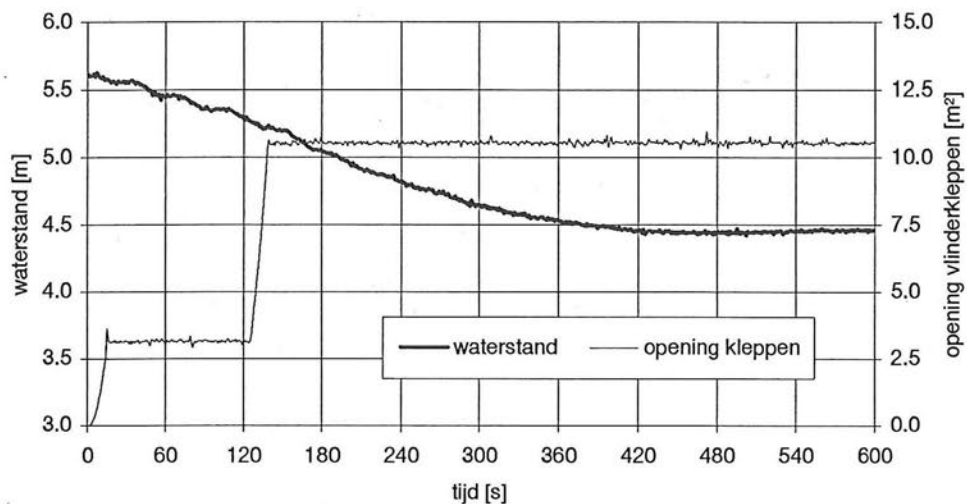


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B013

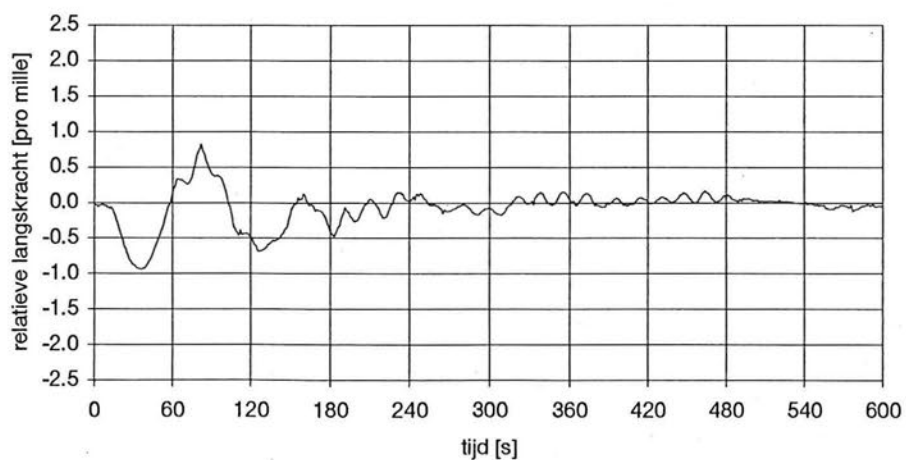
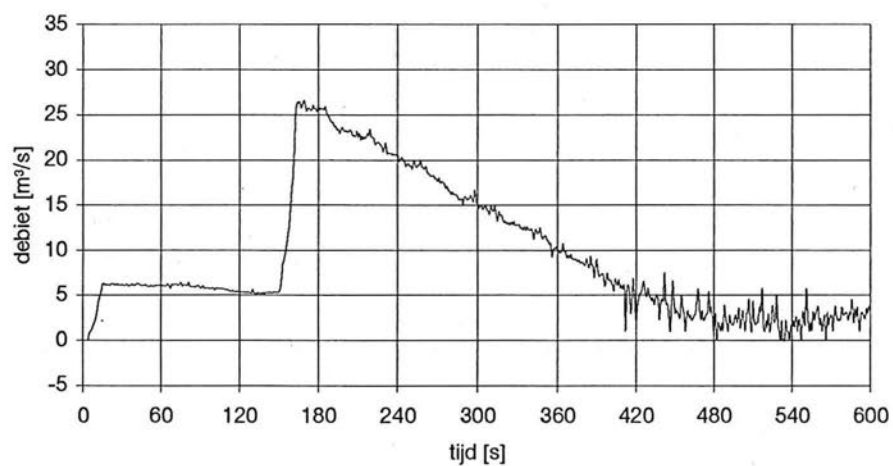
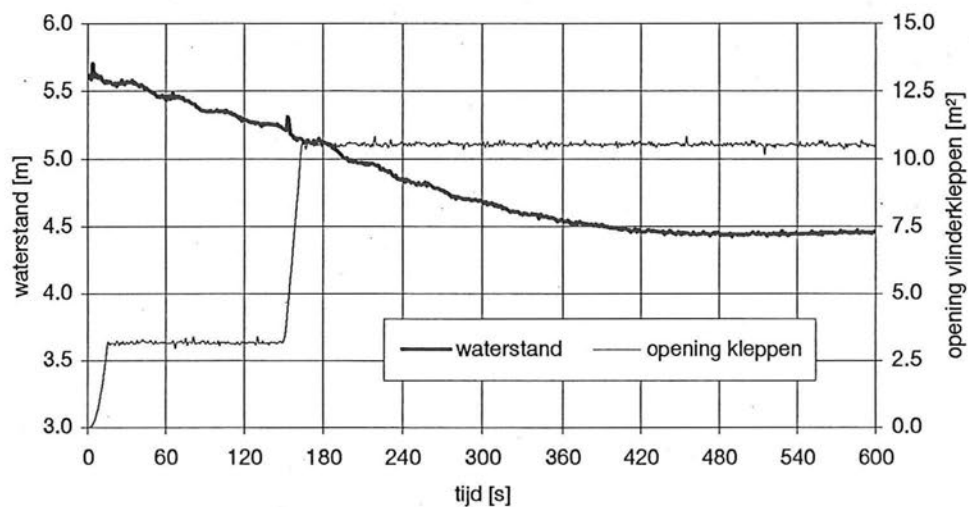


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B014


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B015

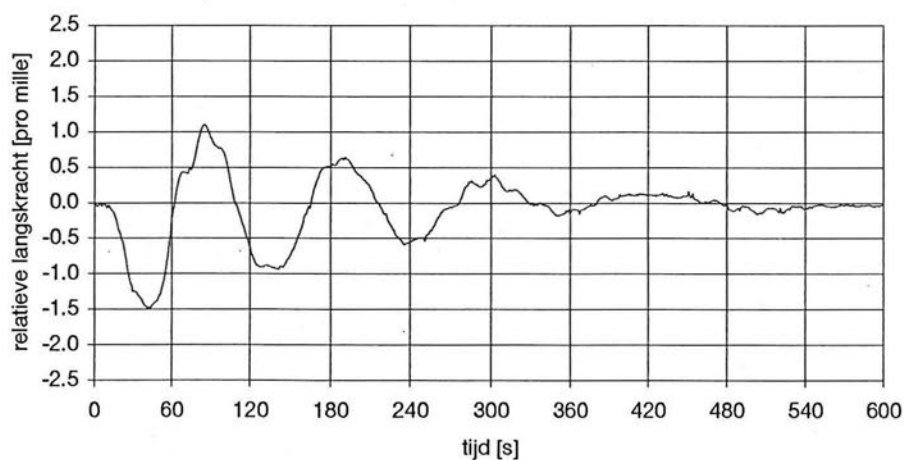
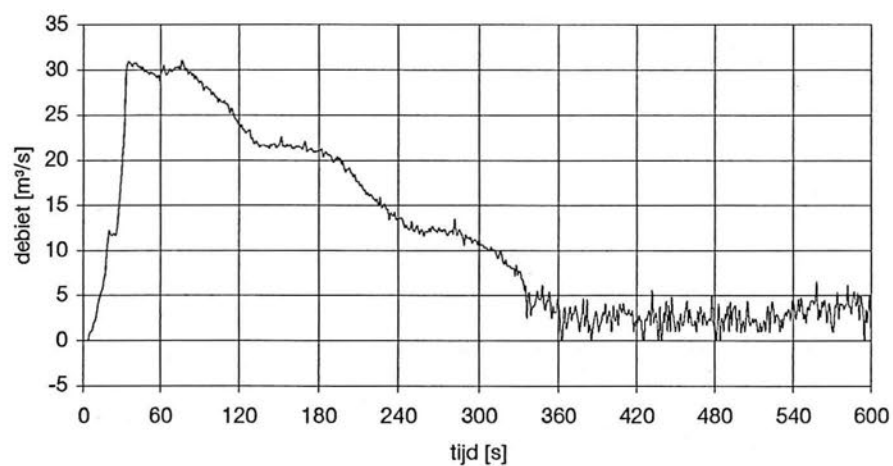
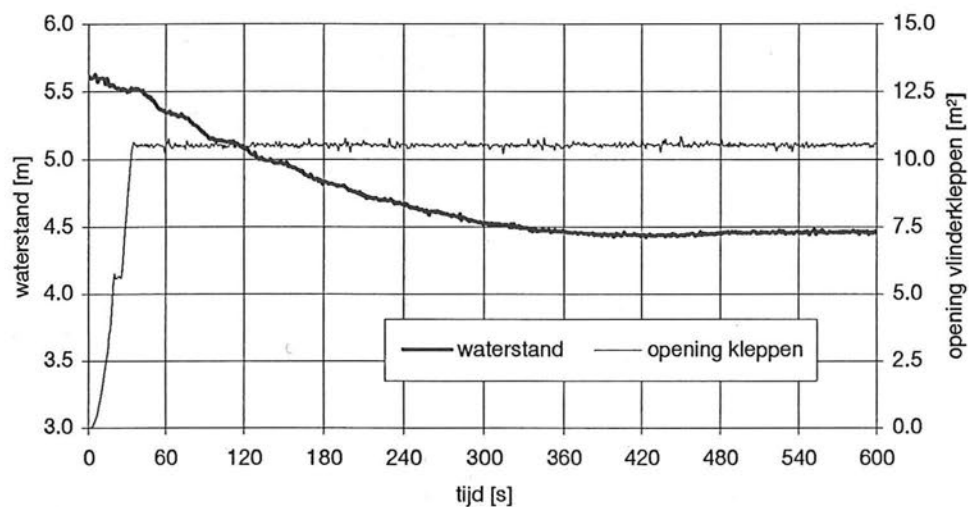


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B016

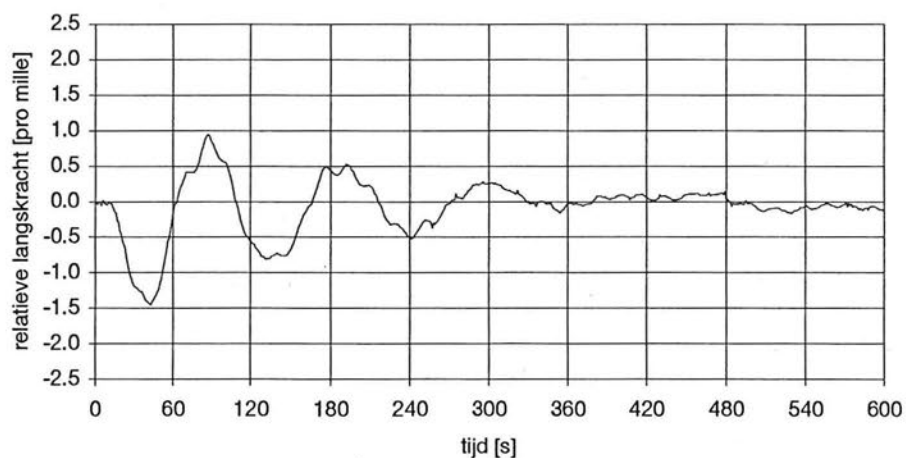
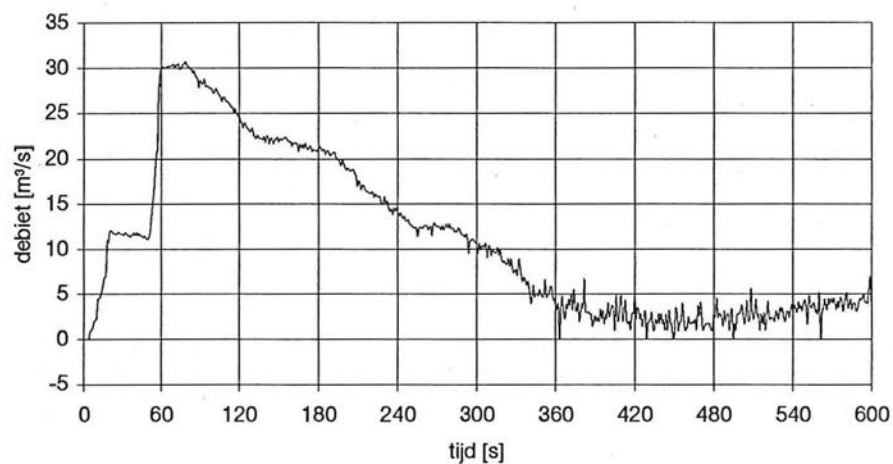
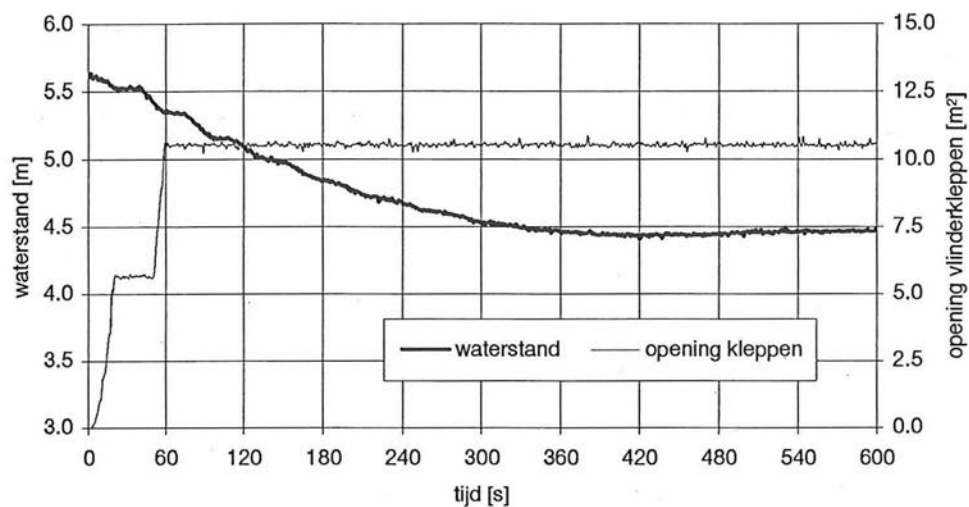




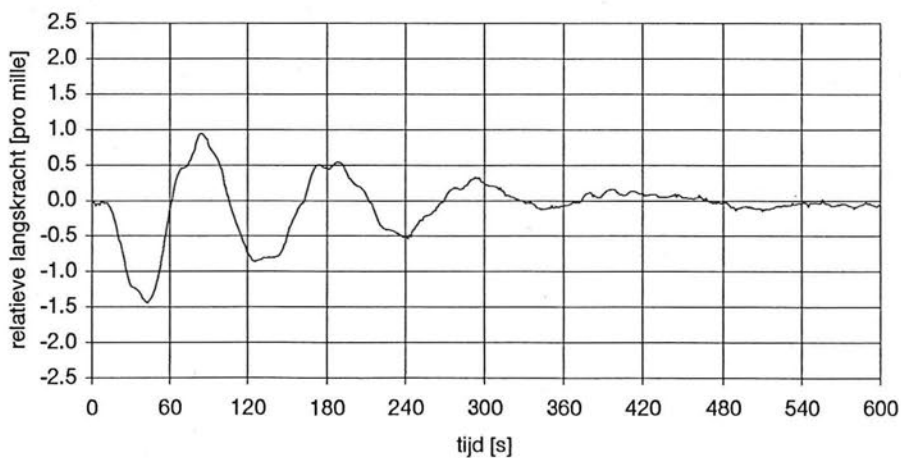
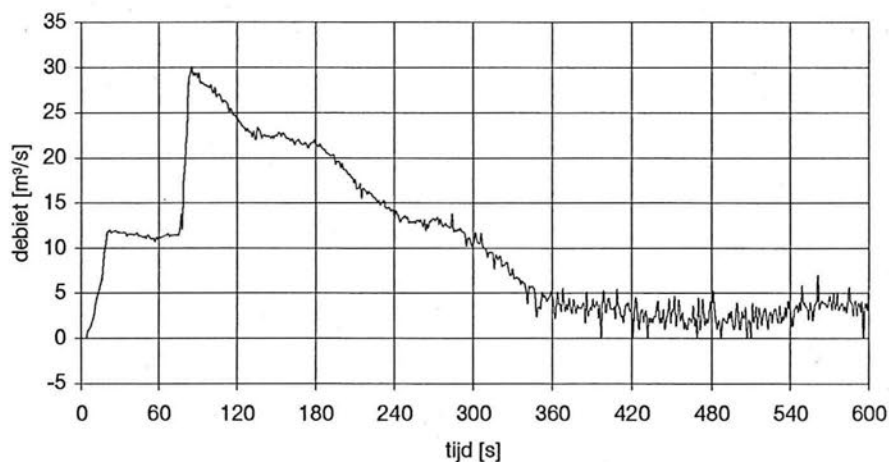
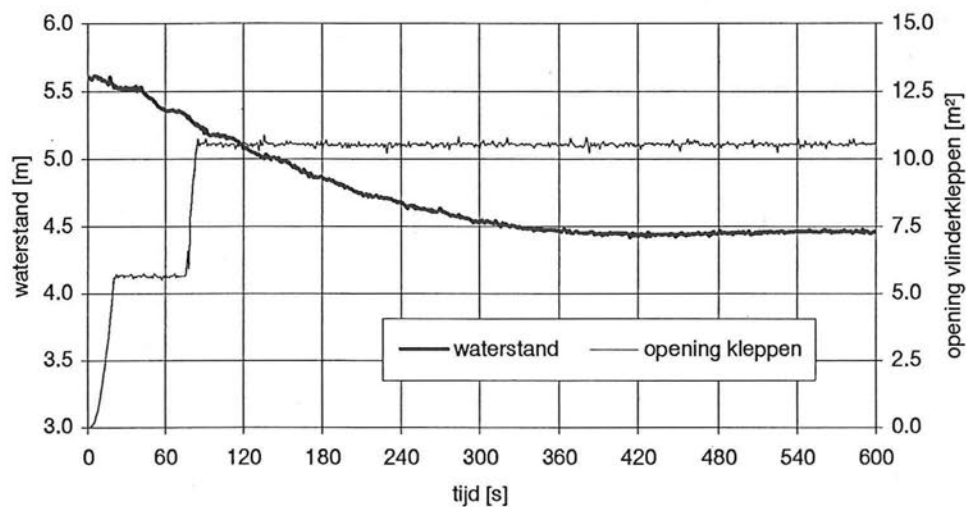
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B017



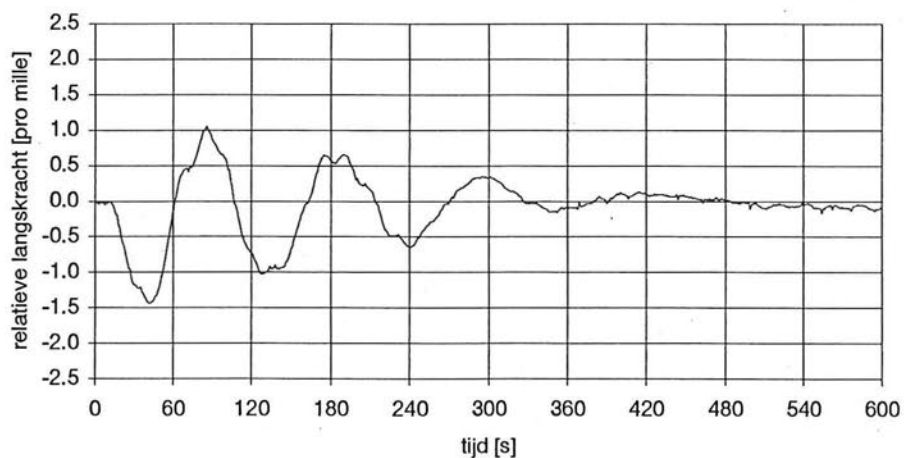
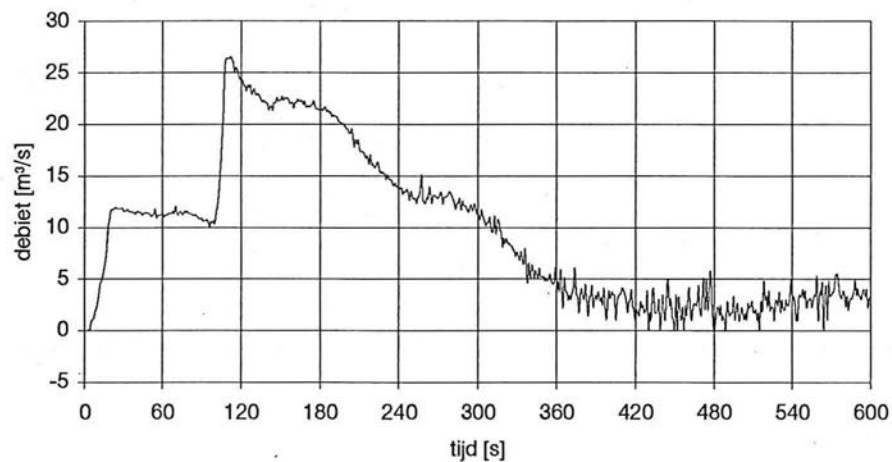
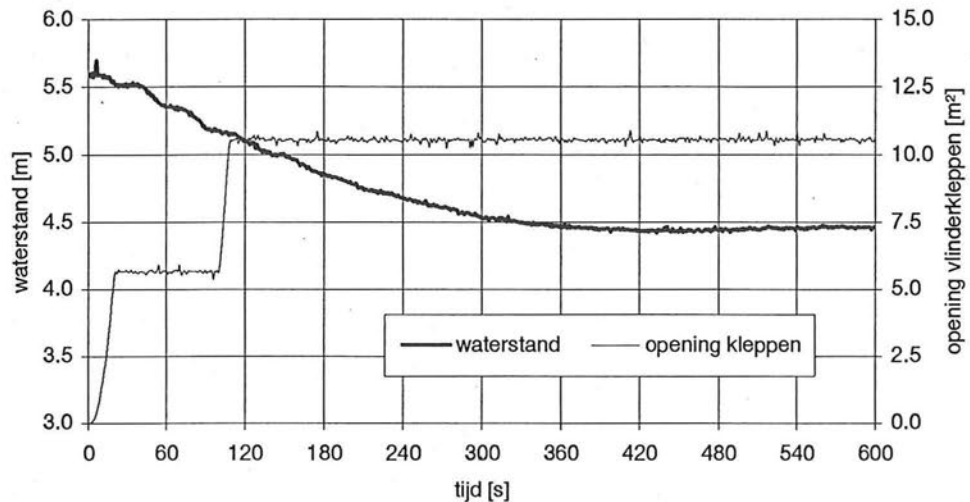
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B018

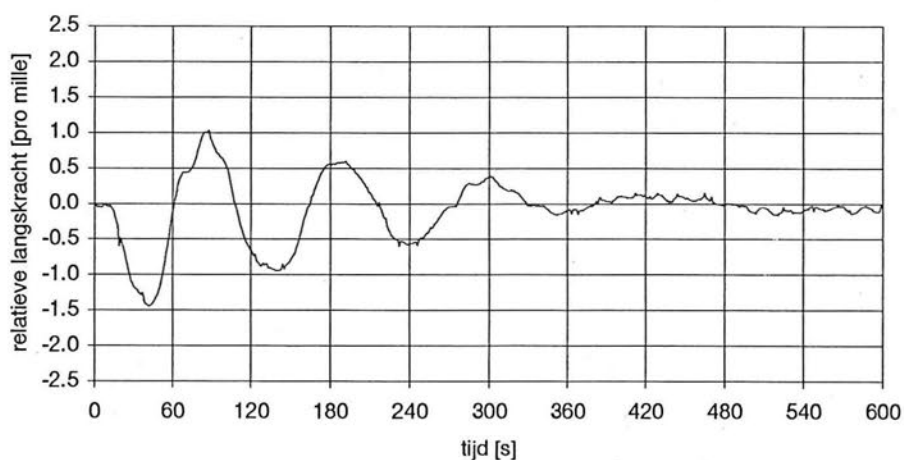
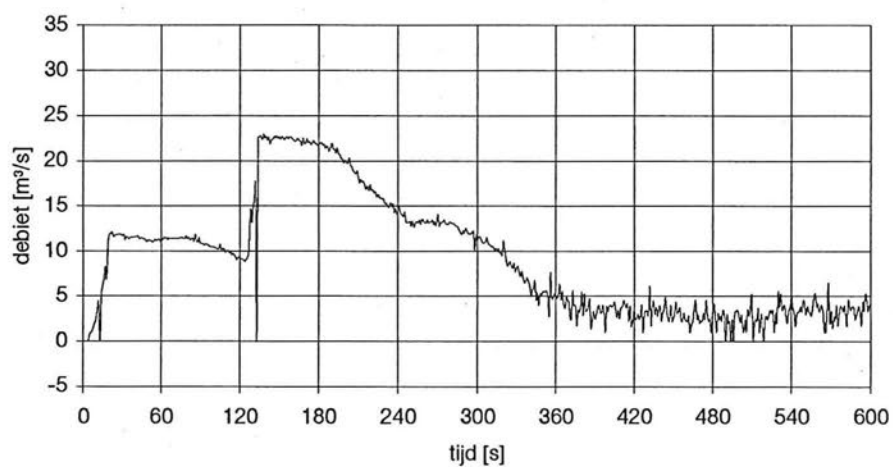
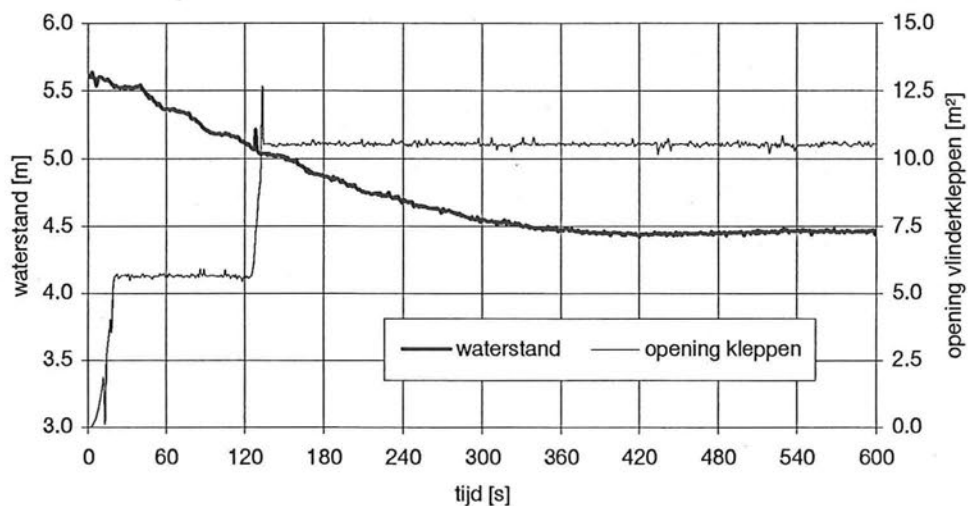


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B019

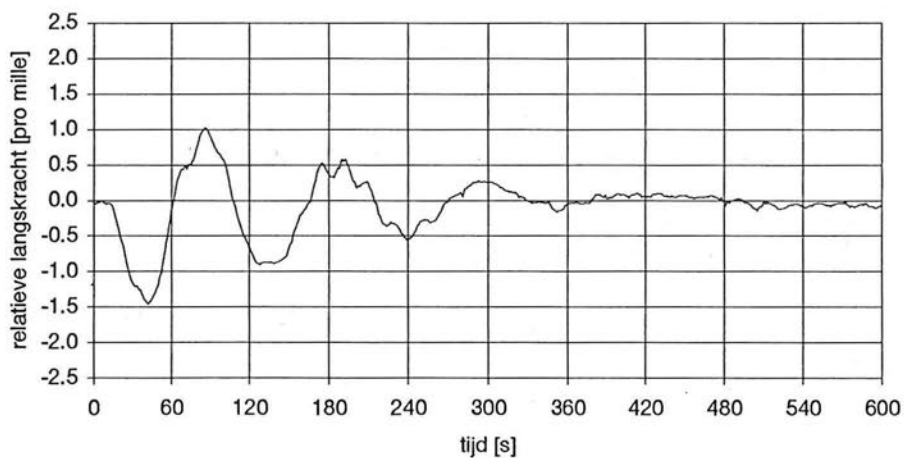
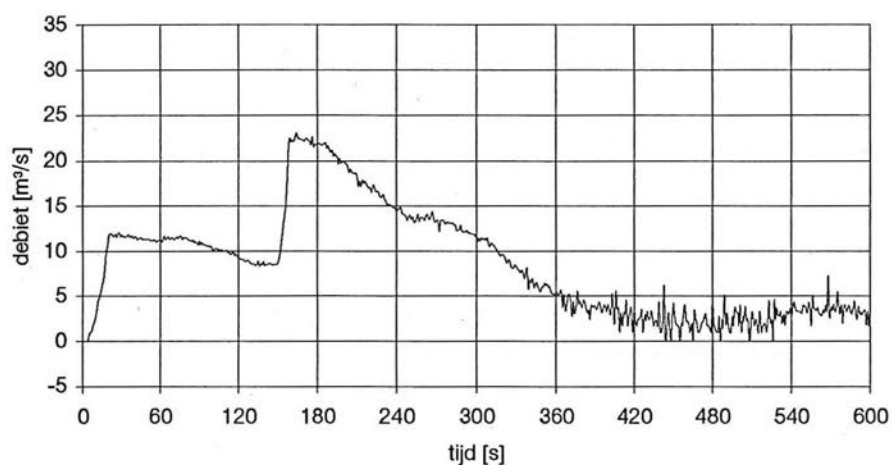
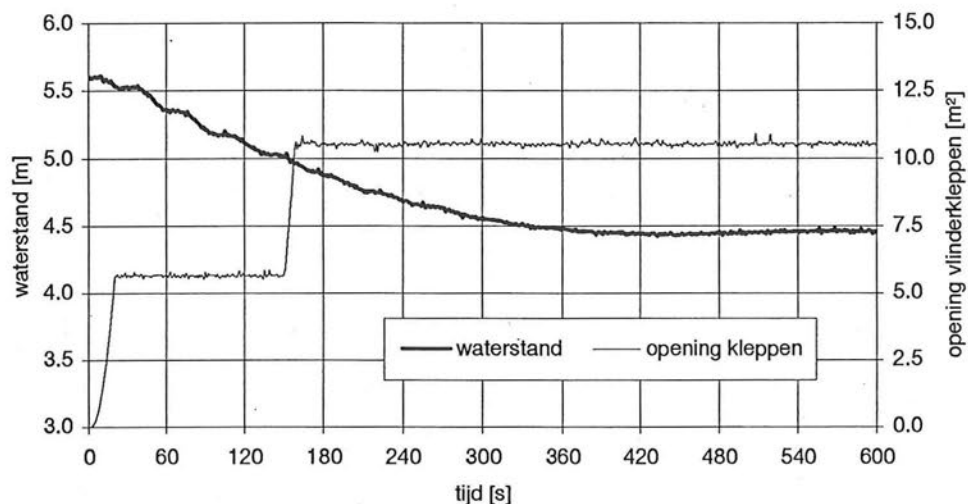


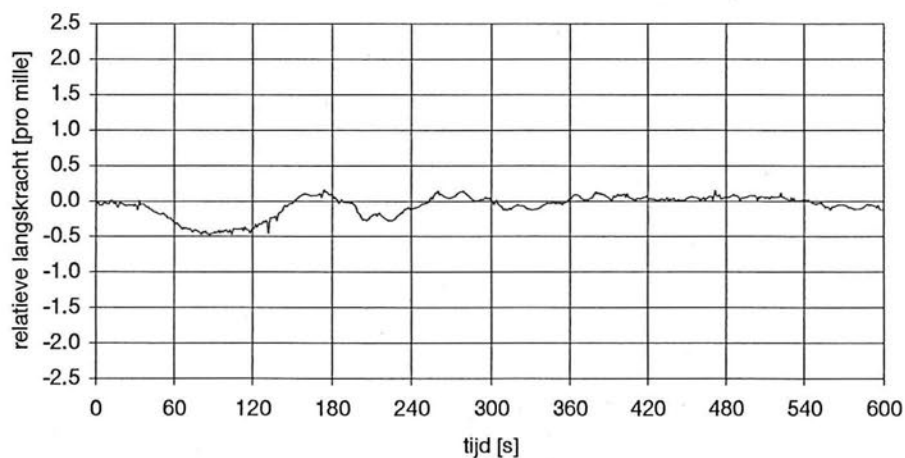
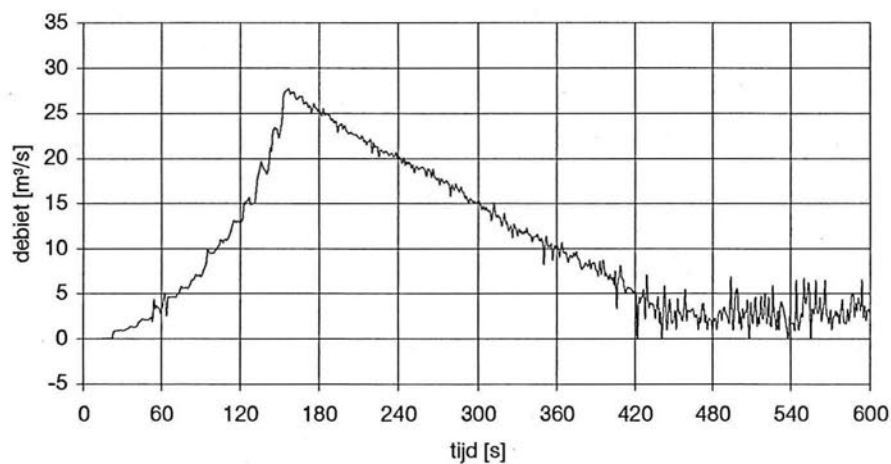
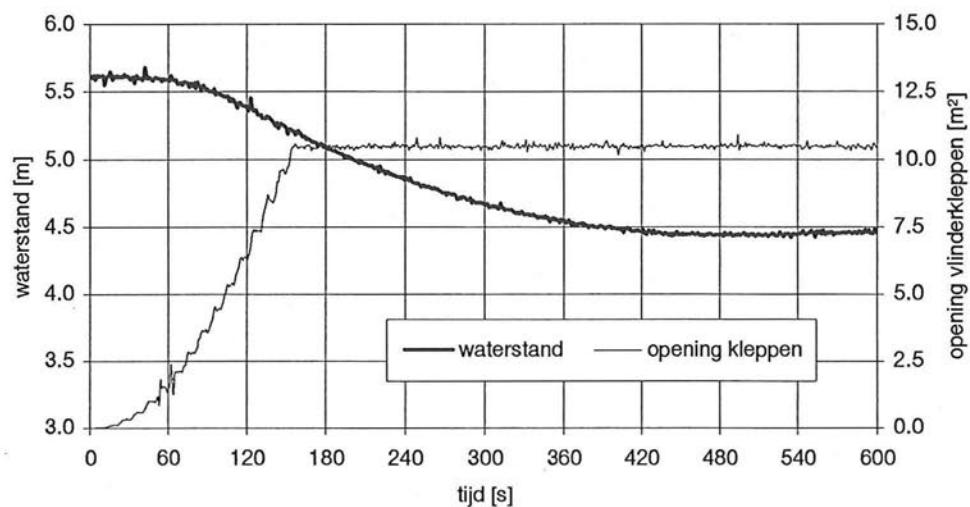
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B020



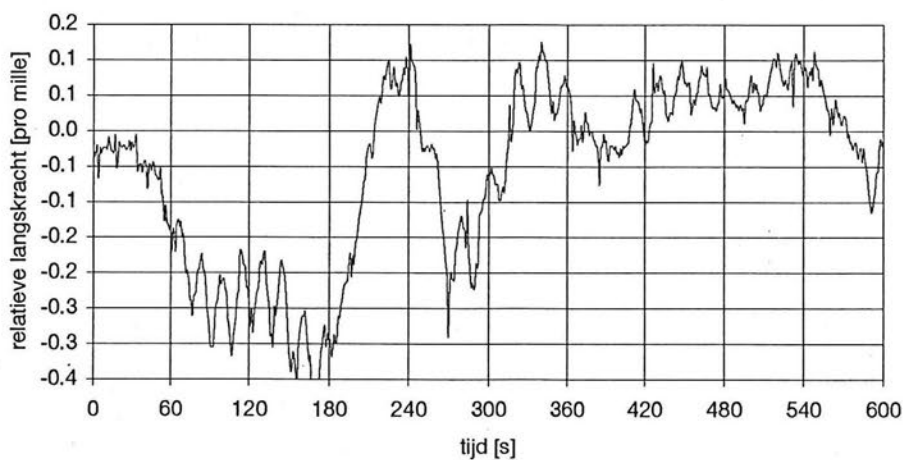
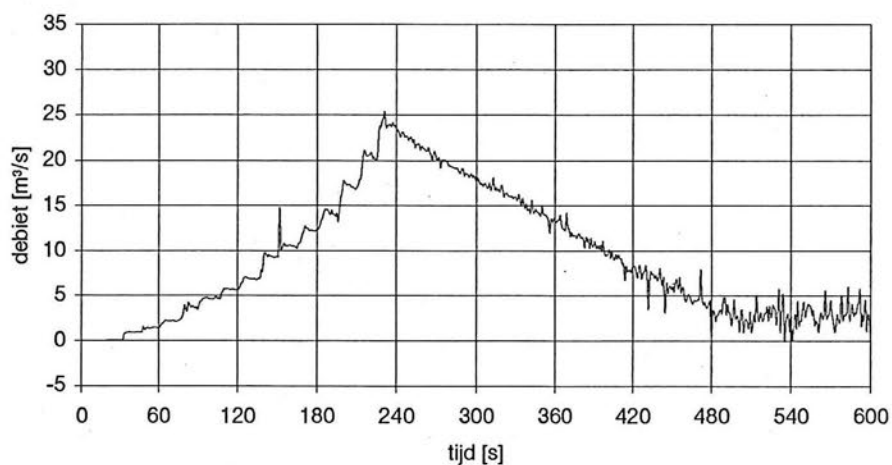
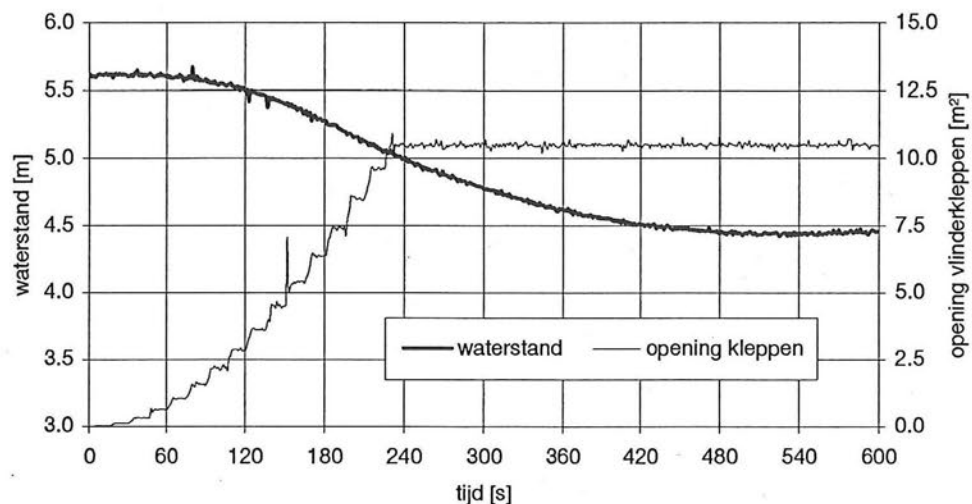
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B021


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B022



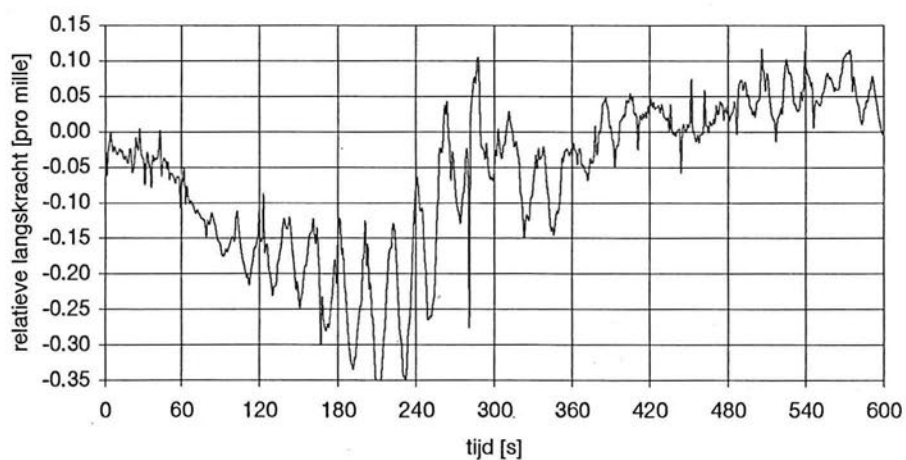
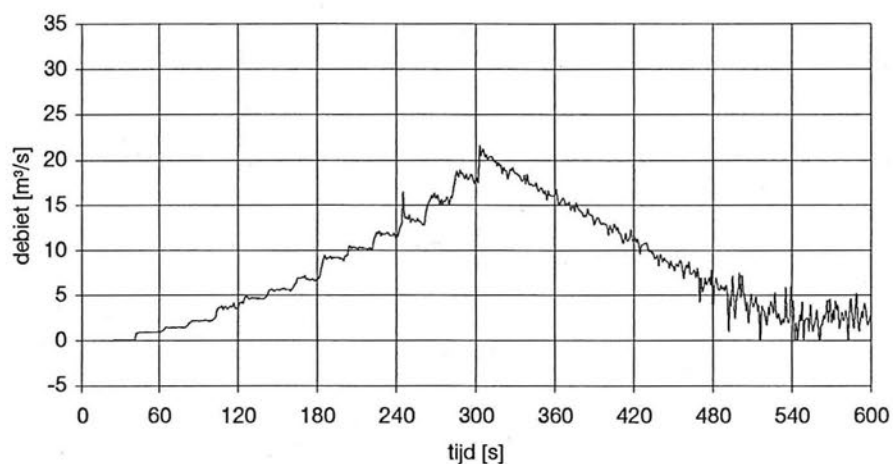
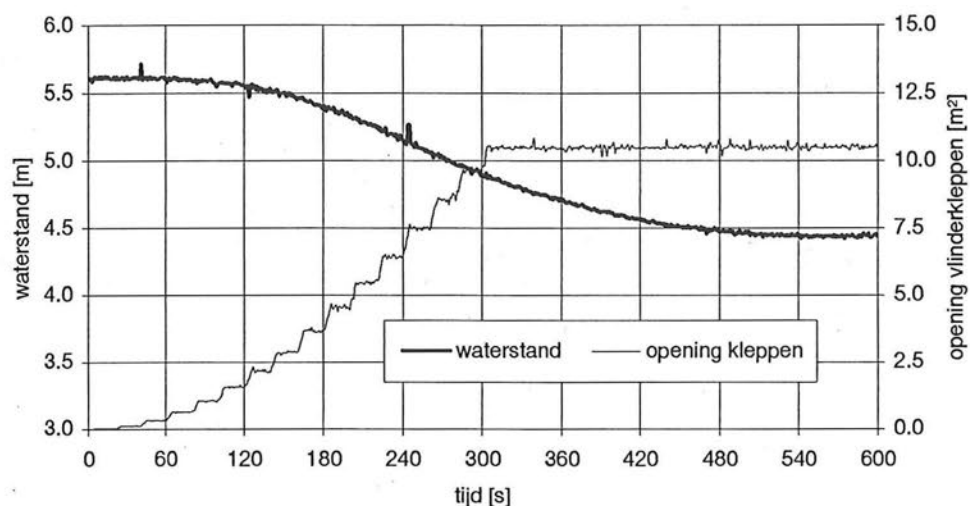
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B023


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B024

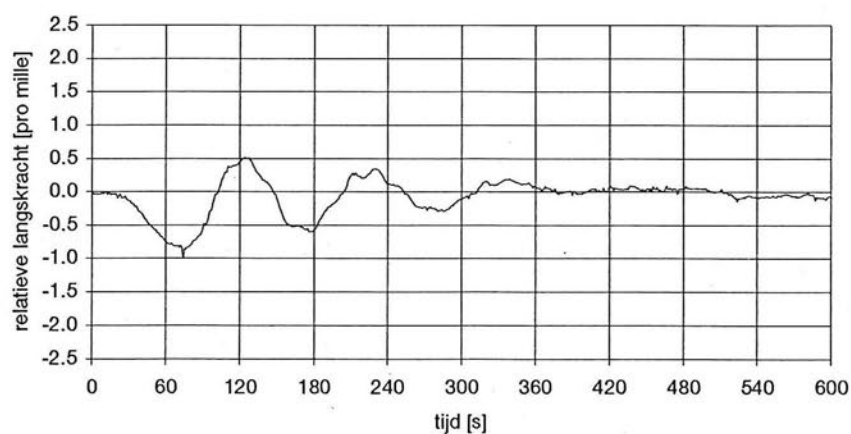
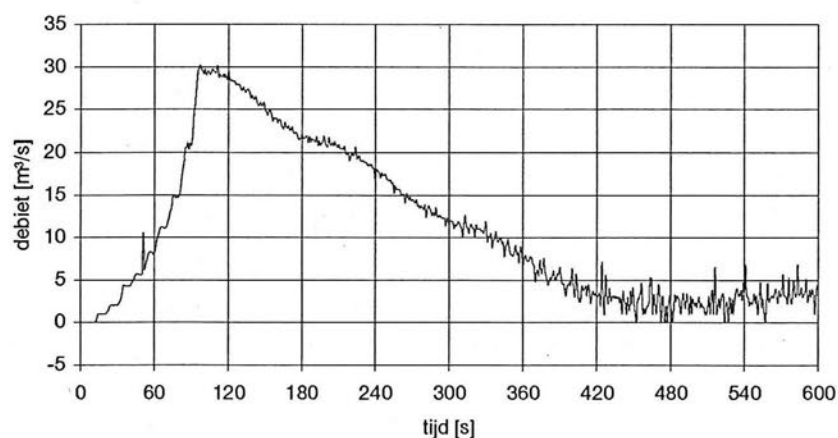
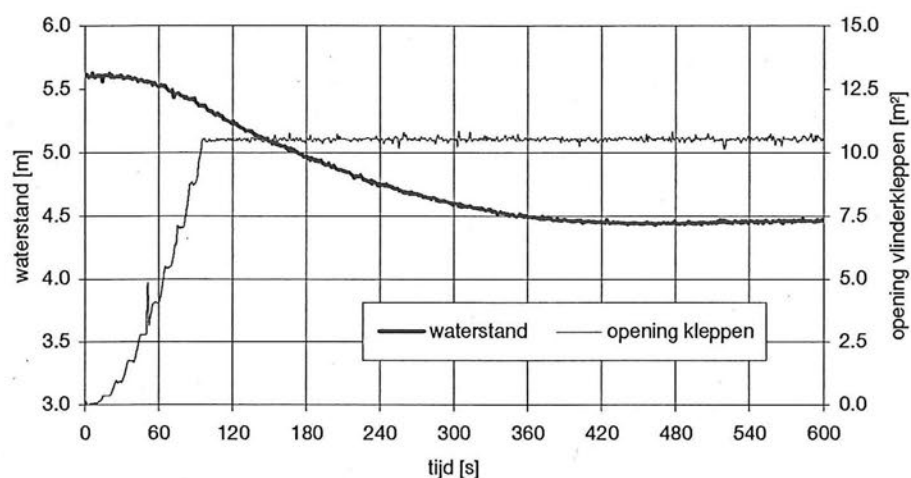




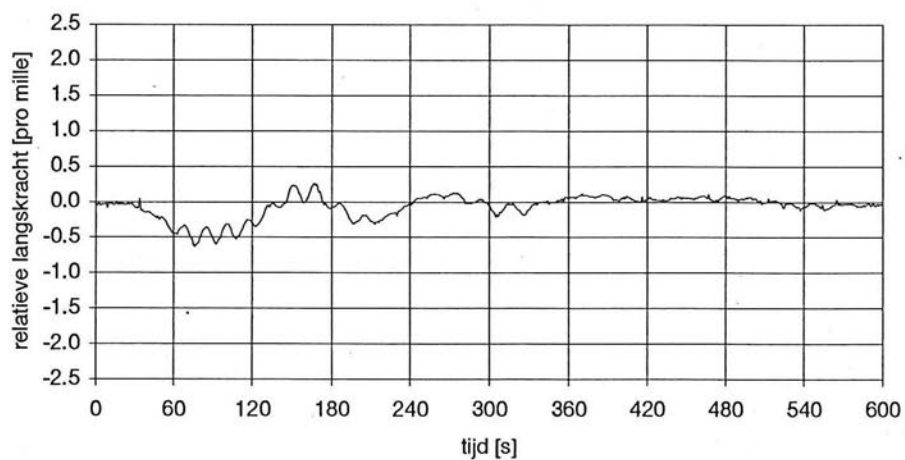
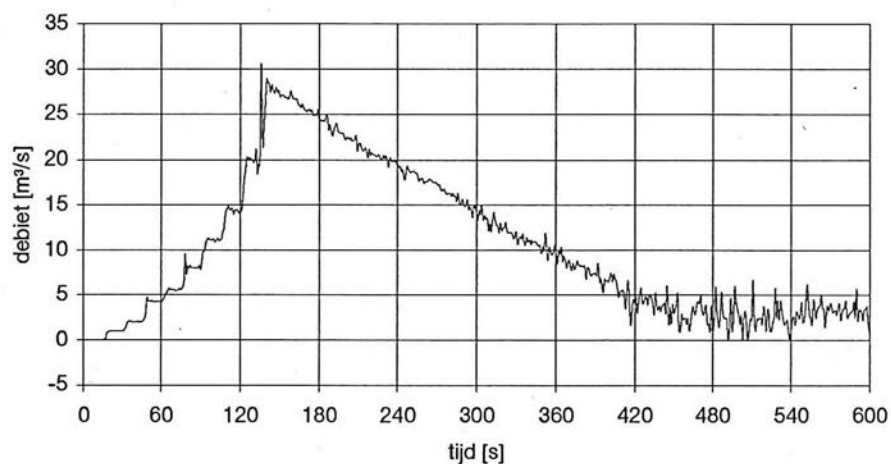
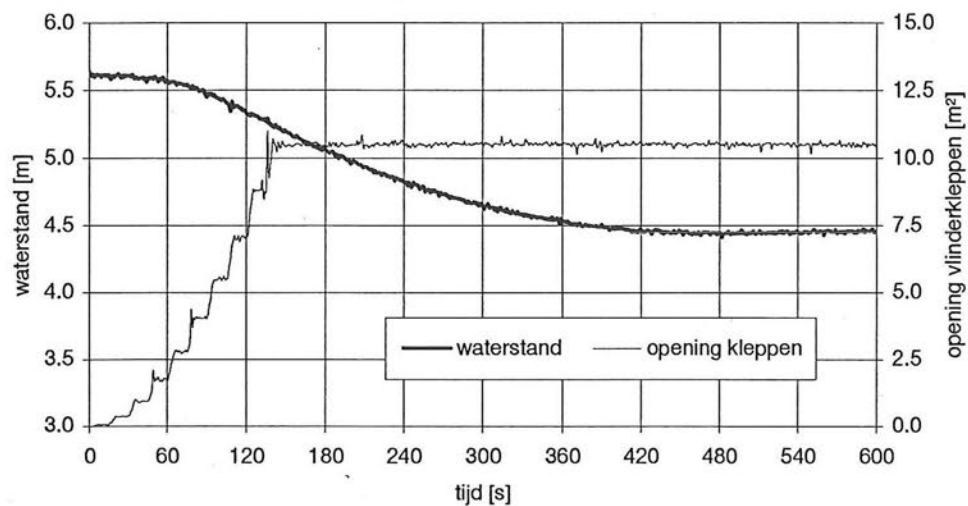
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B025



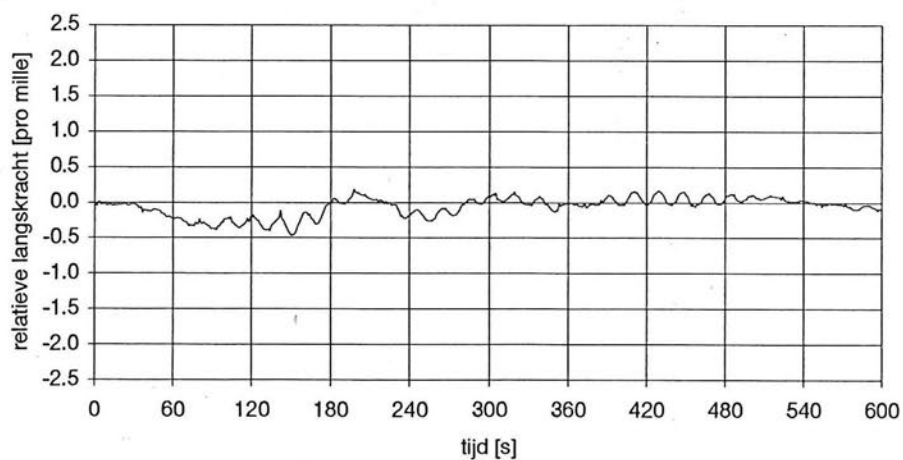
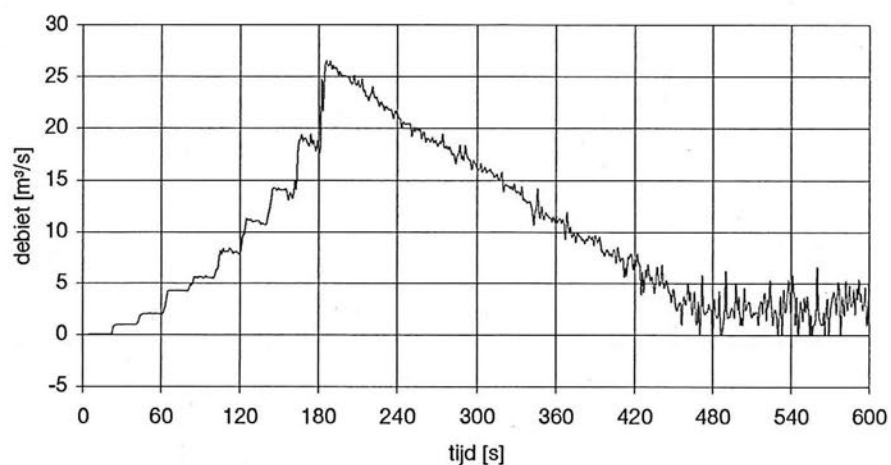
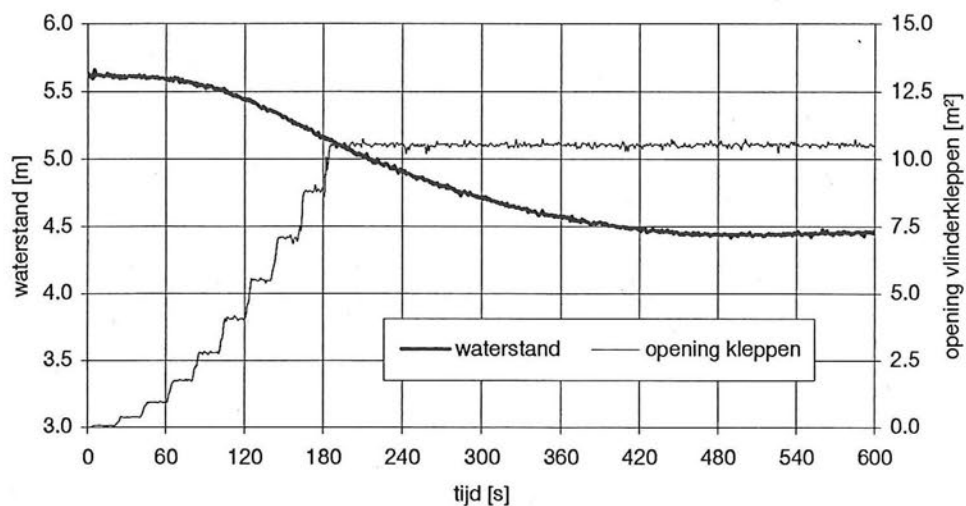
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B026



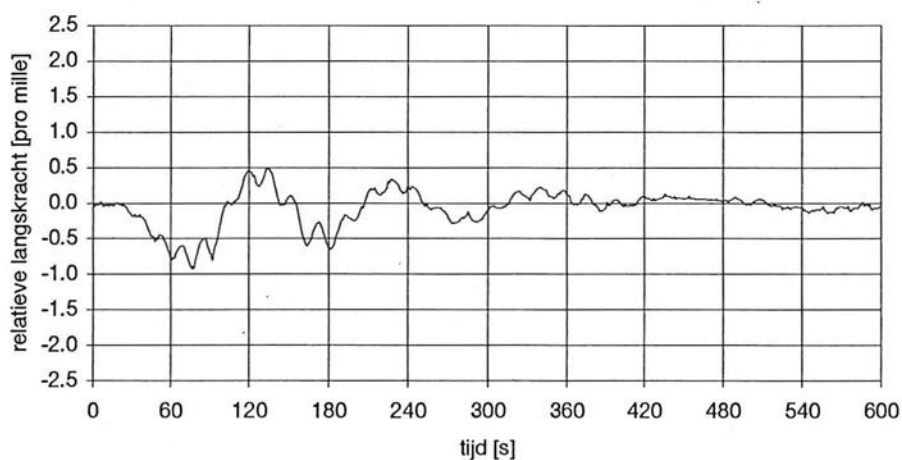
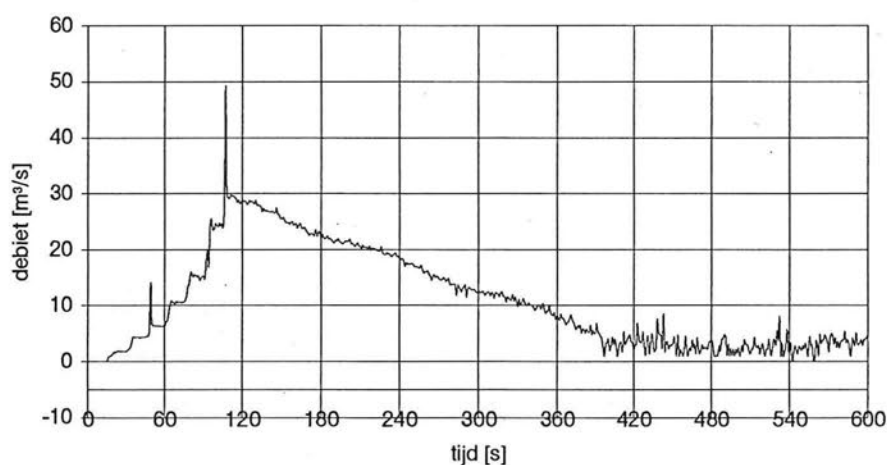
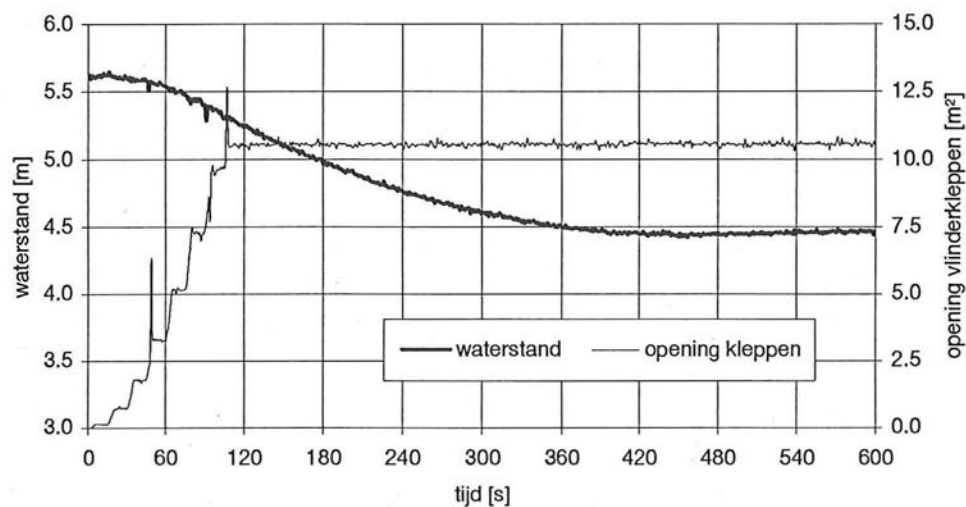
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B027



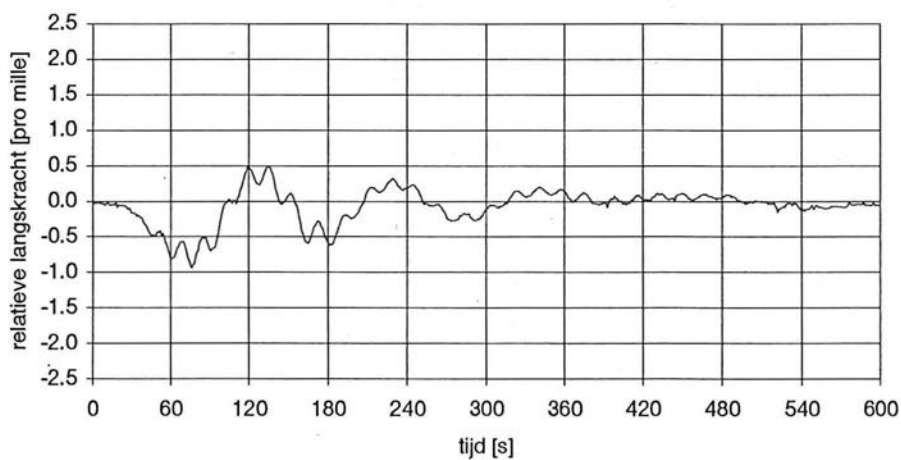
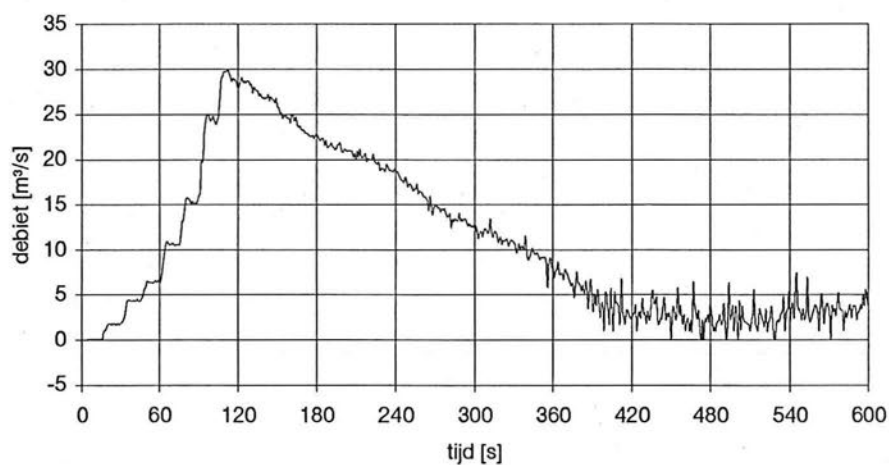
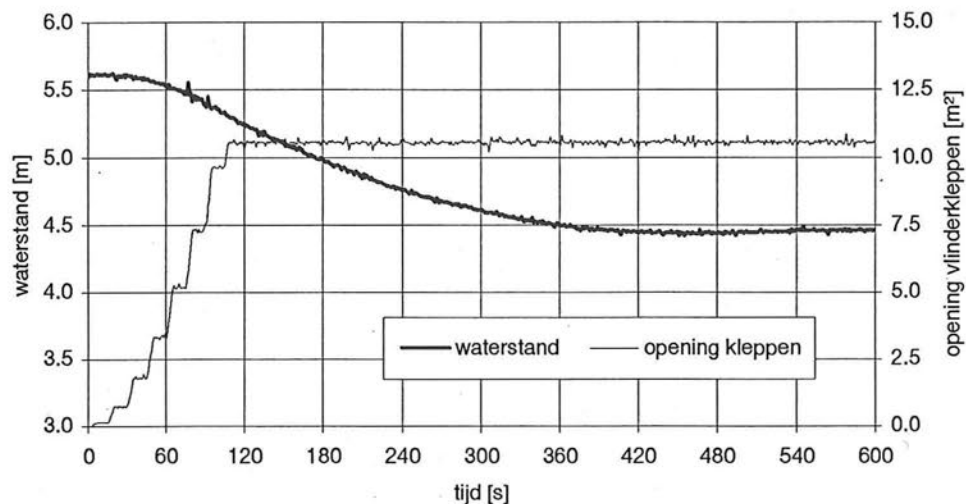
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B028



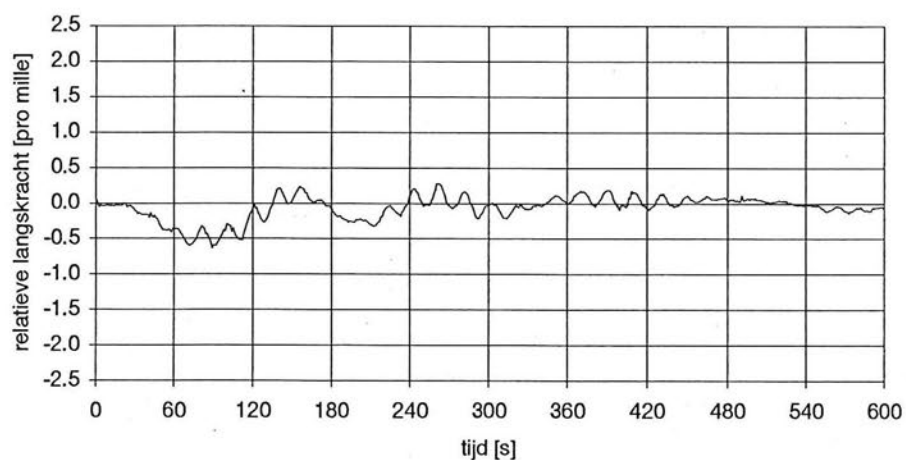
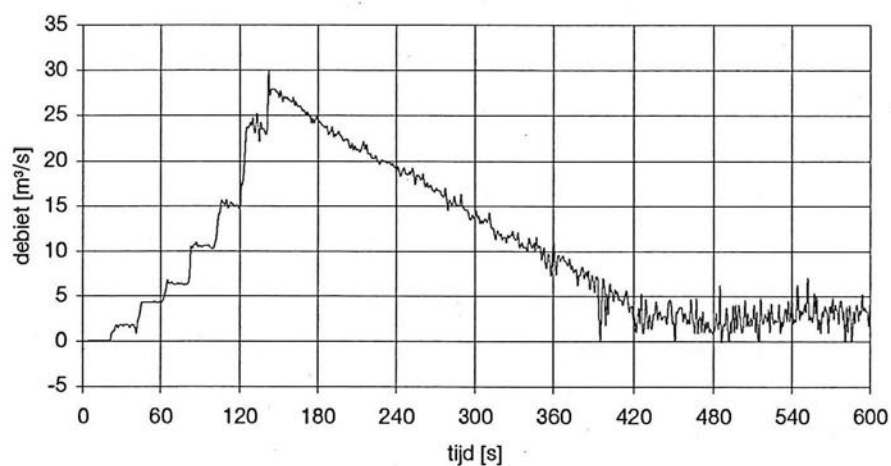
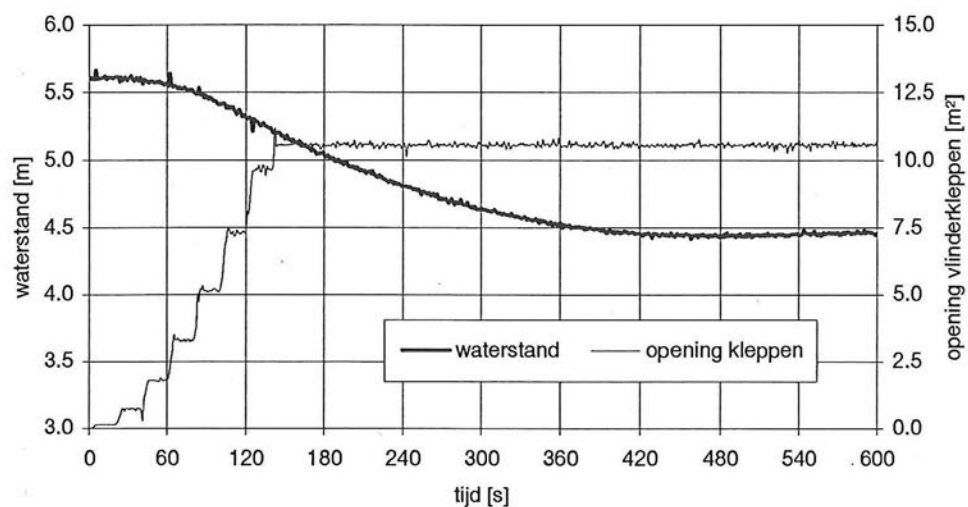
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B029



LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B030

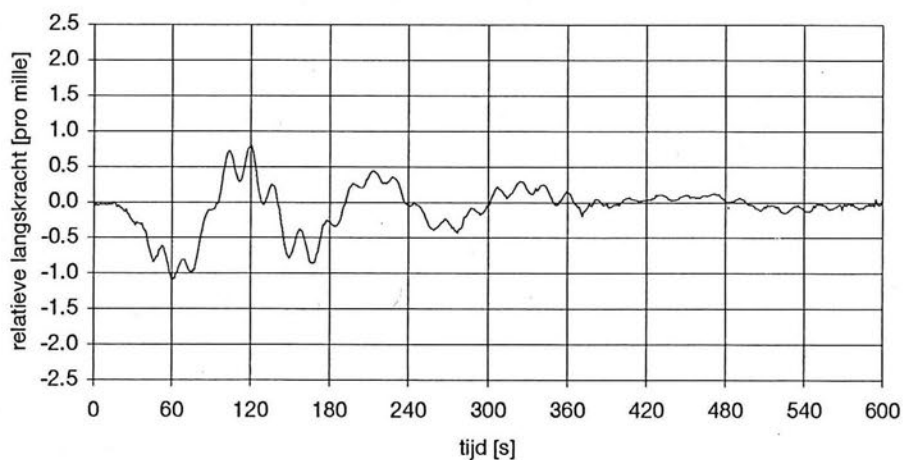
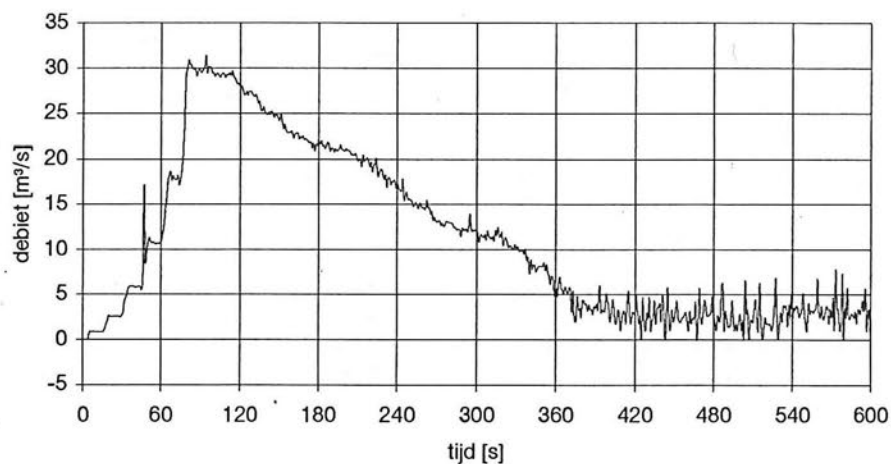
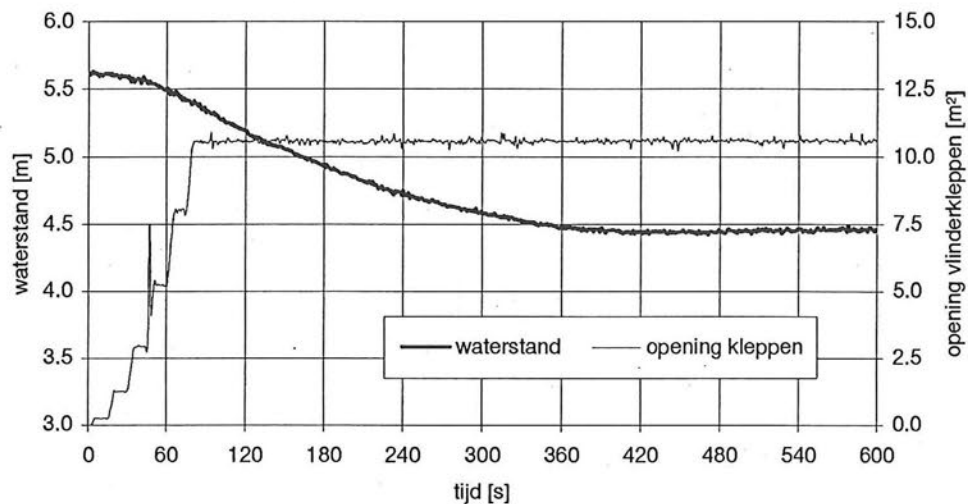


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B031

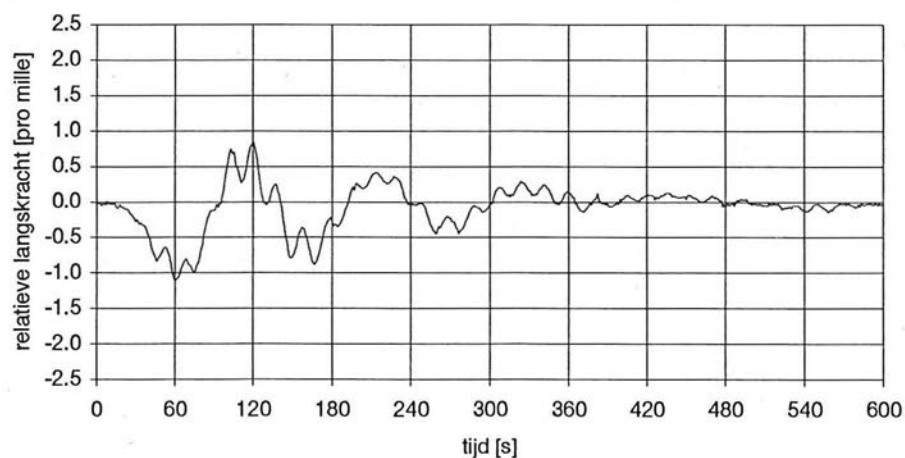
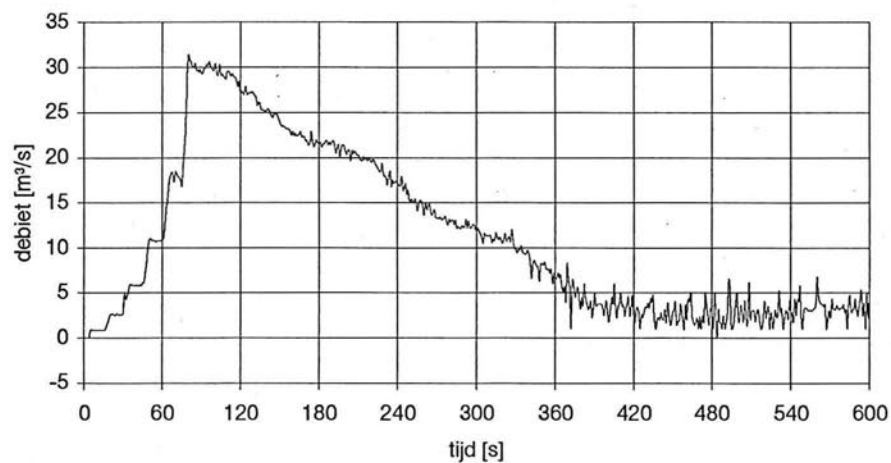
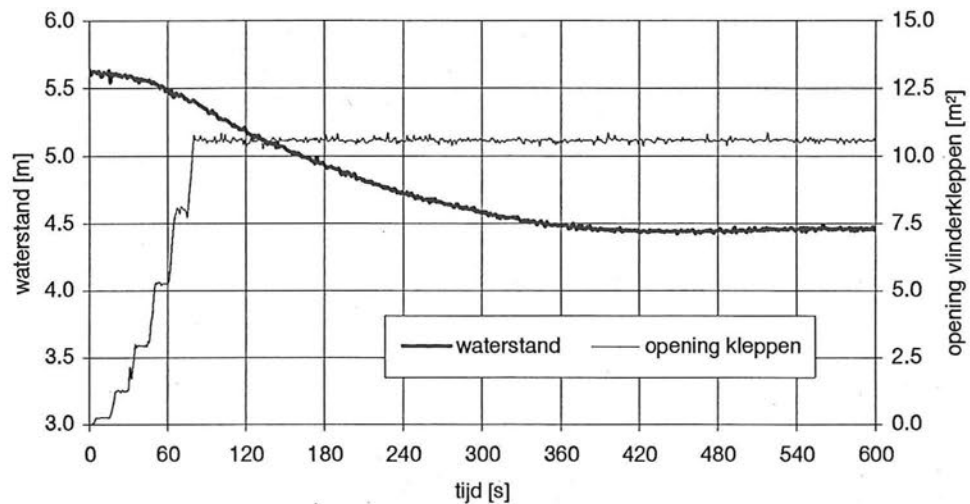




LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B032

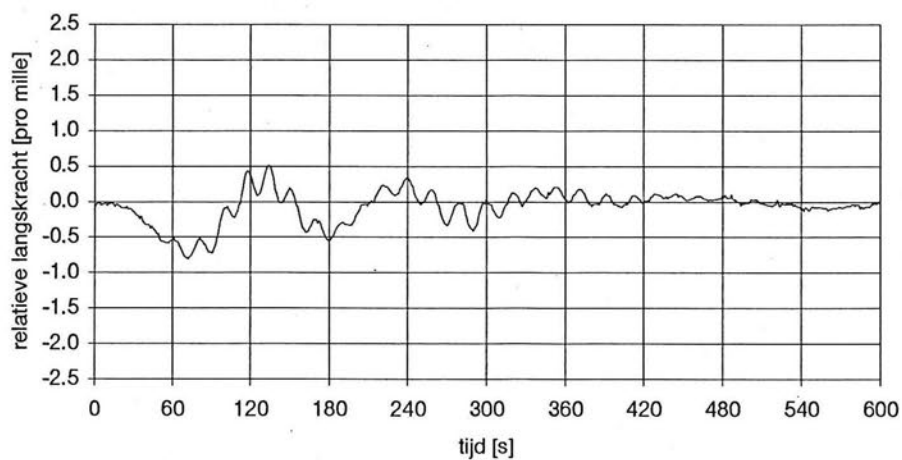
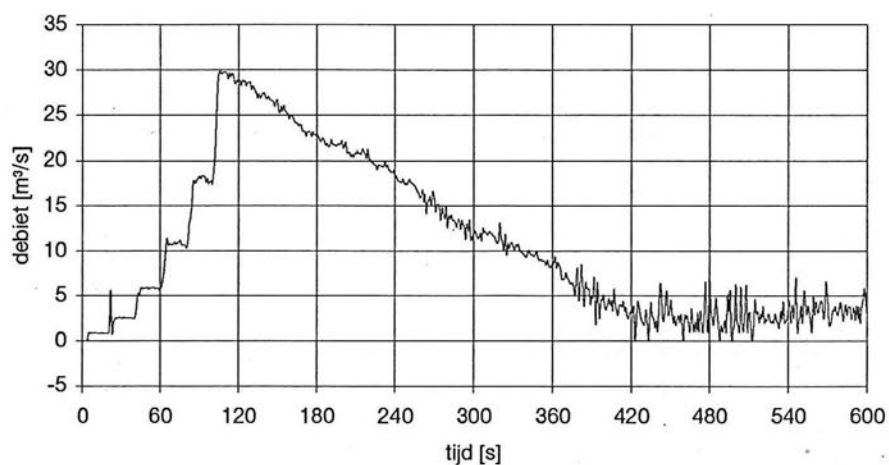
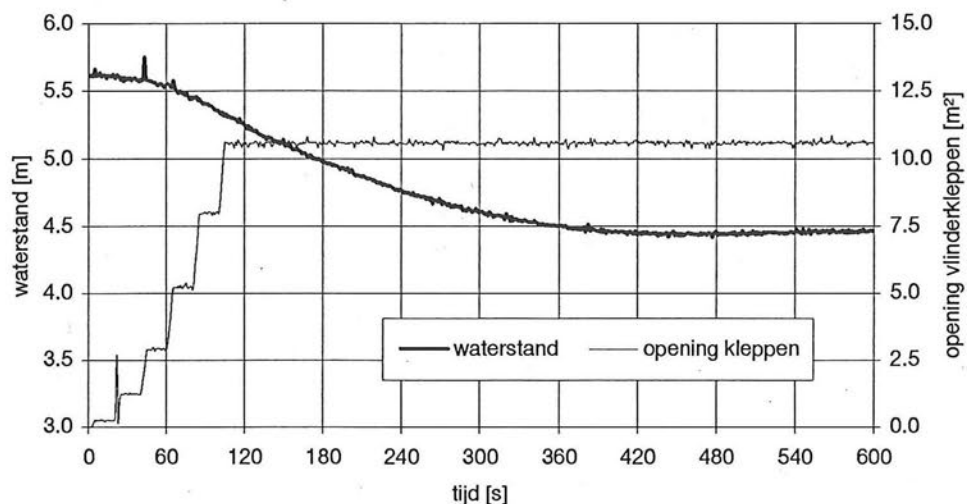


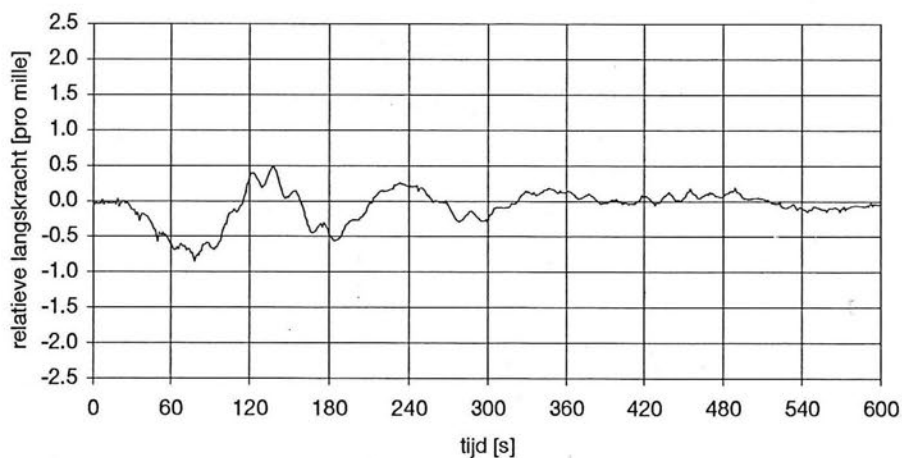
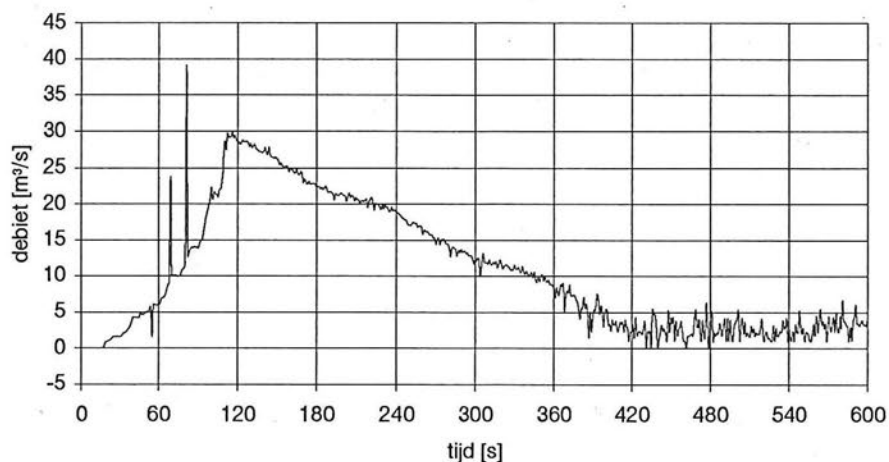
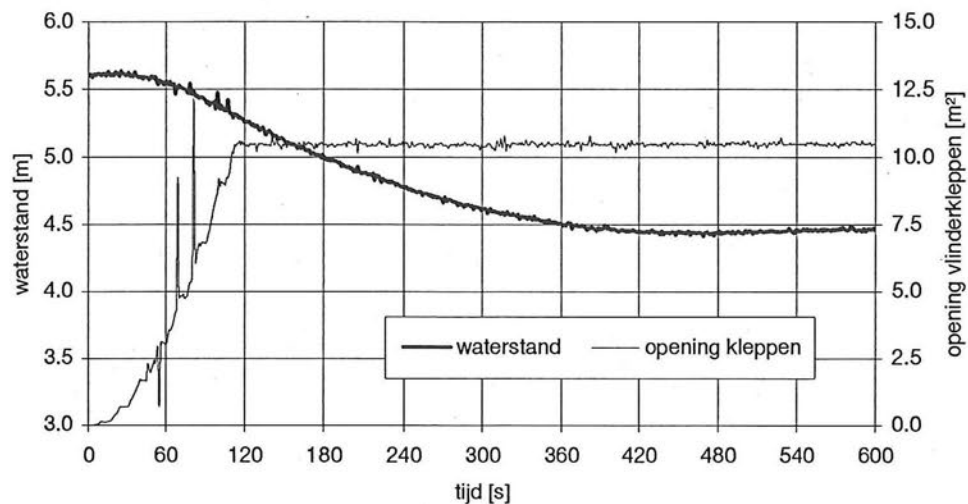
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B033



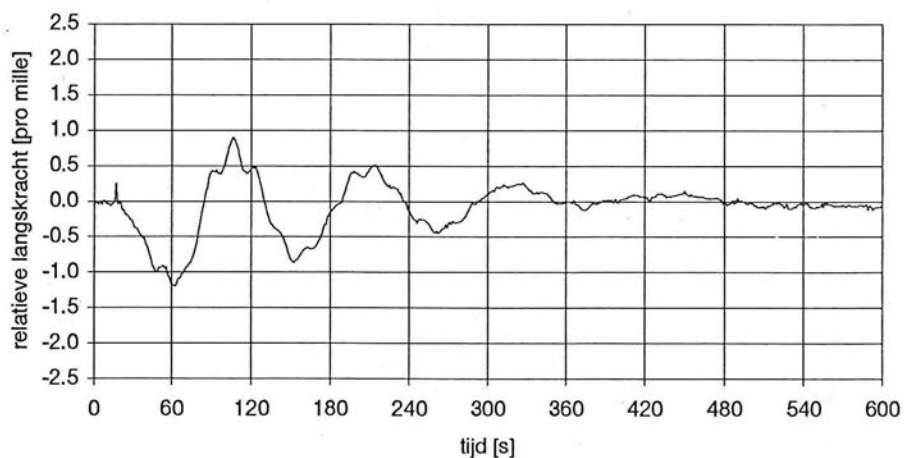
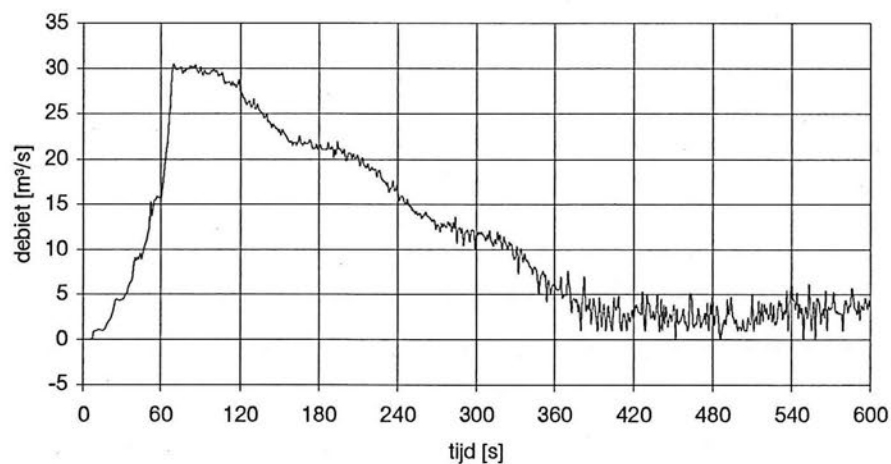
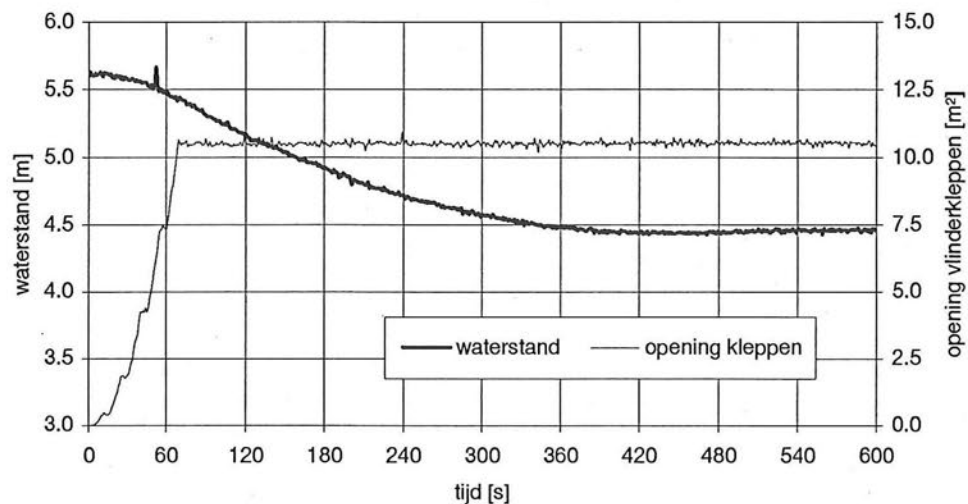


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B034

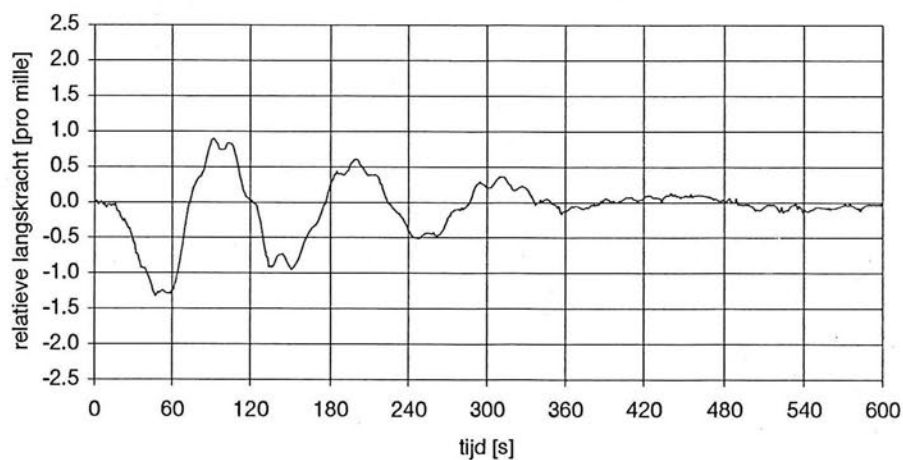
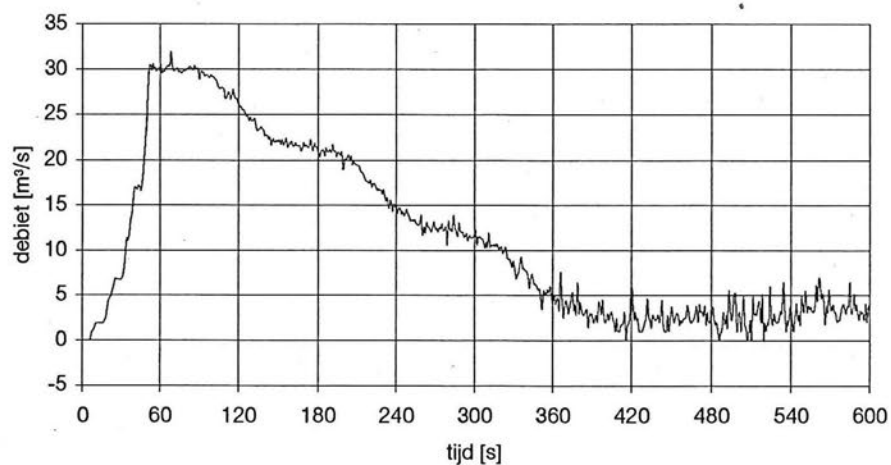
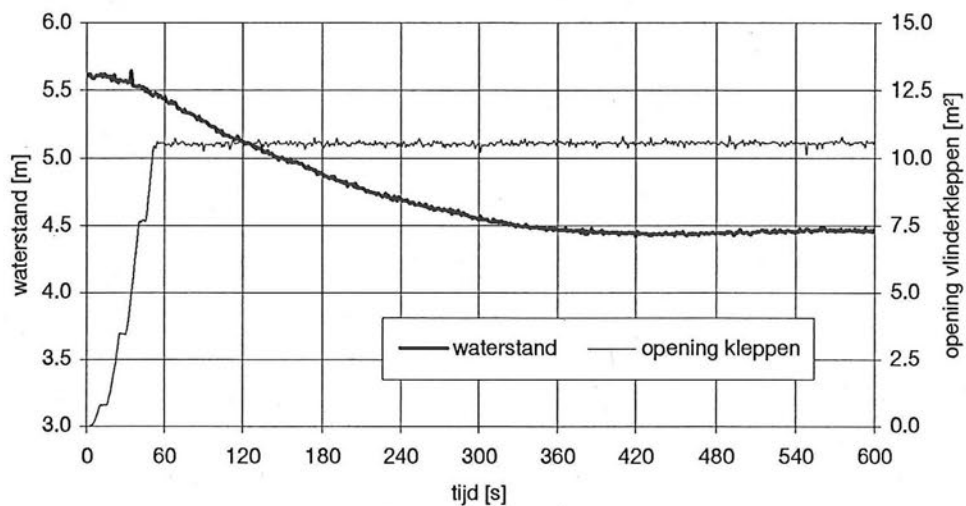


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B035


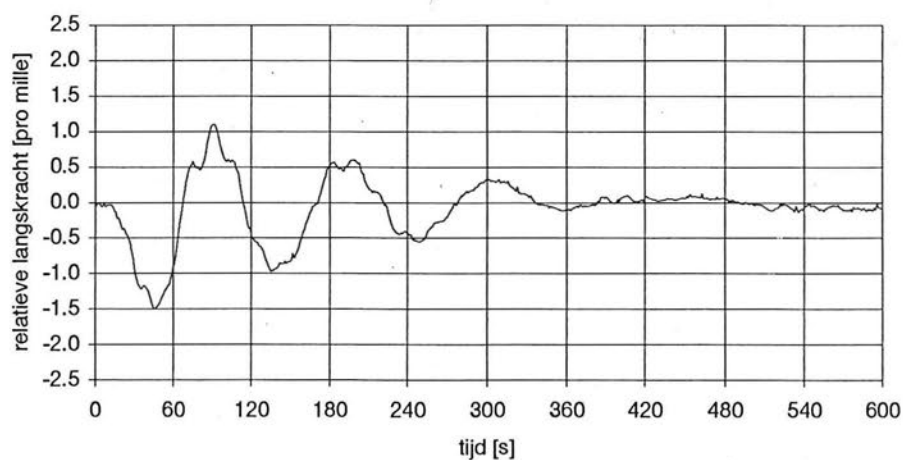
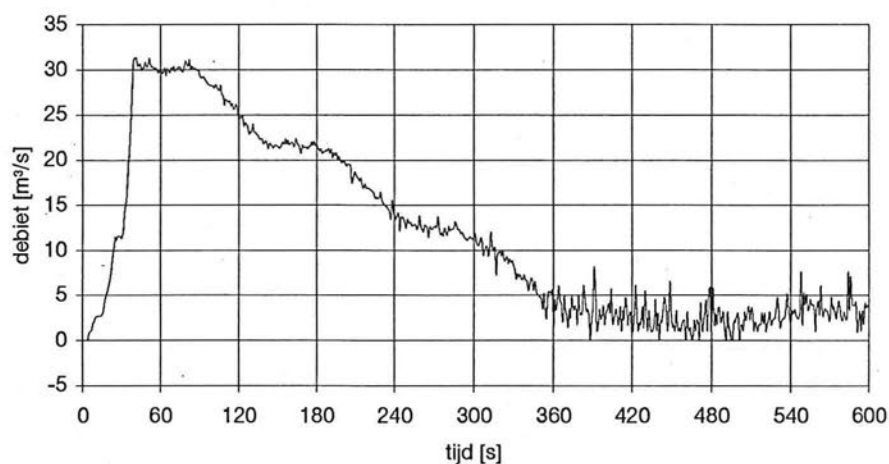
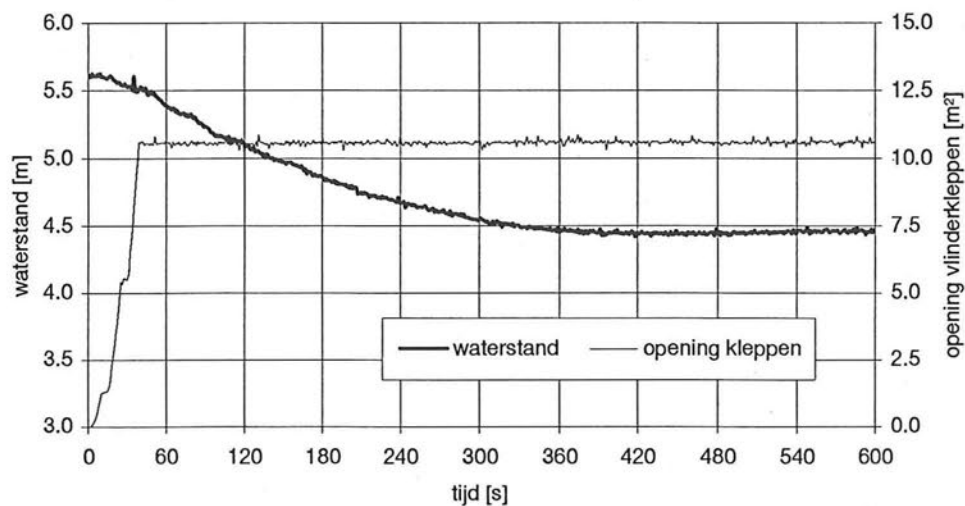
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B036



LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B037

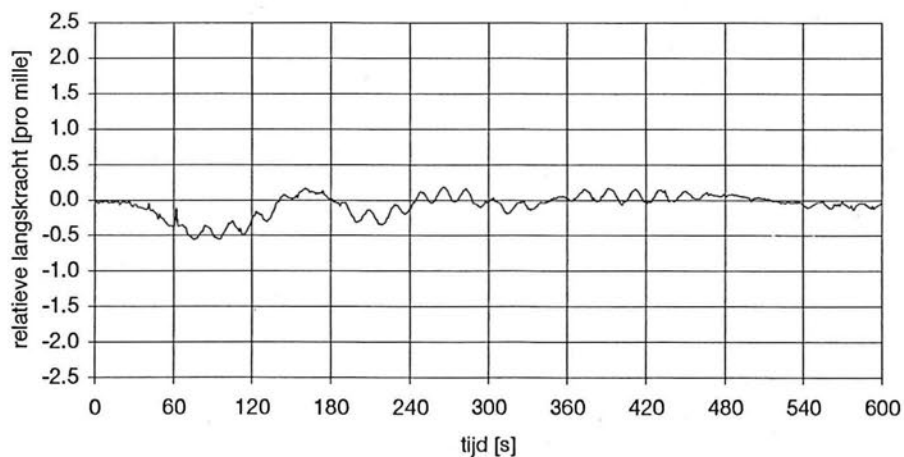
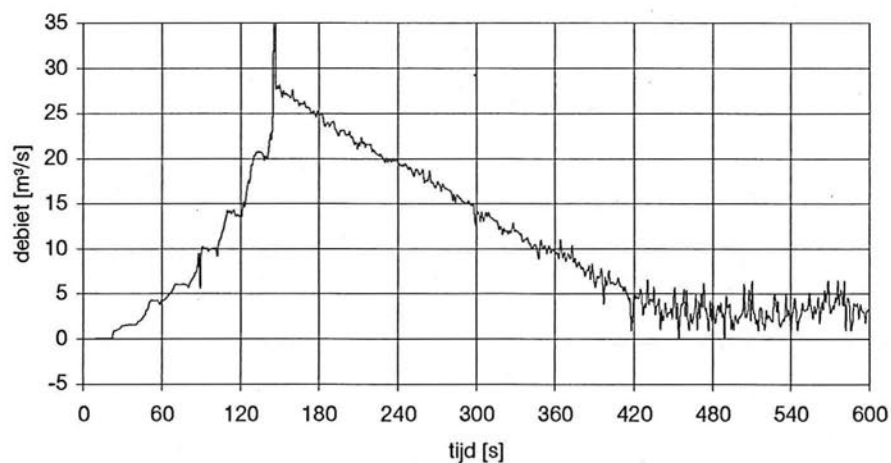
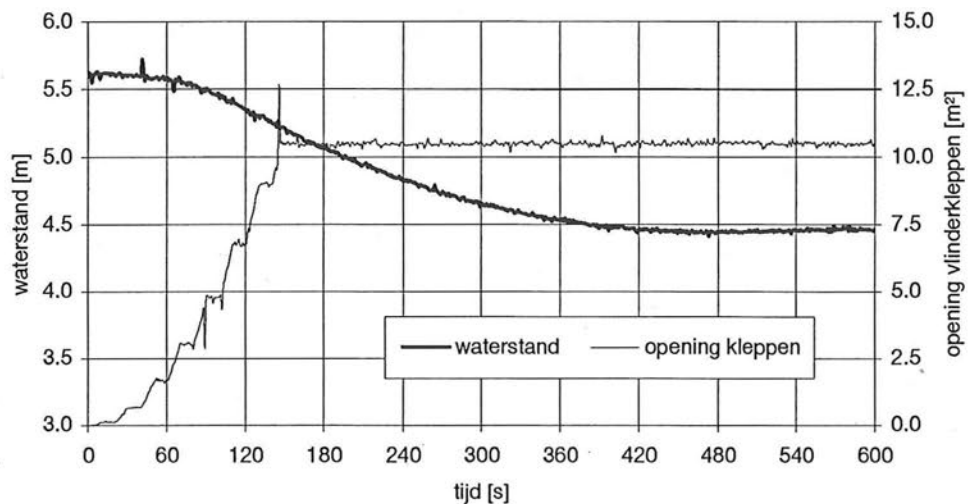


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B038

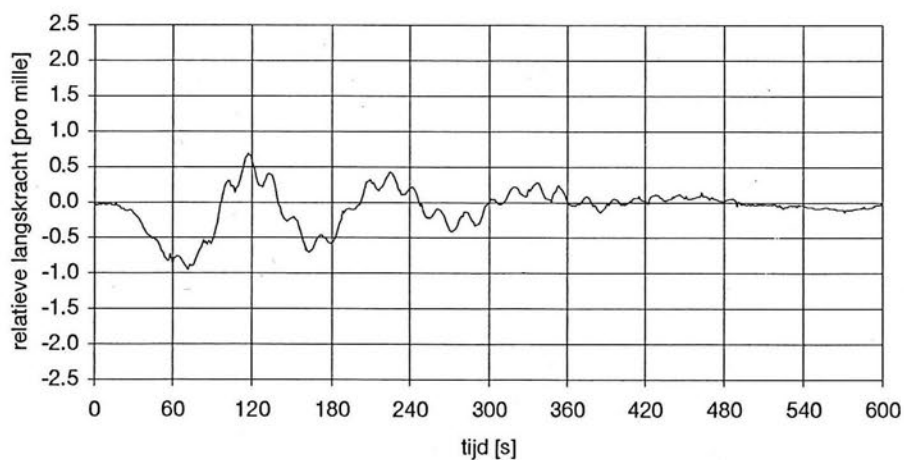
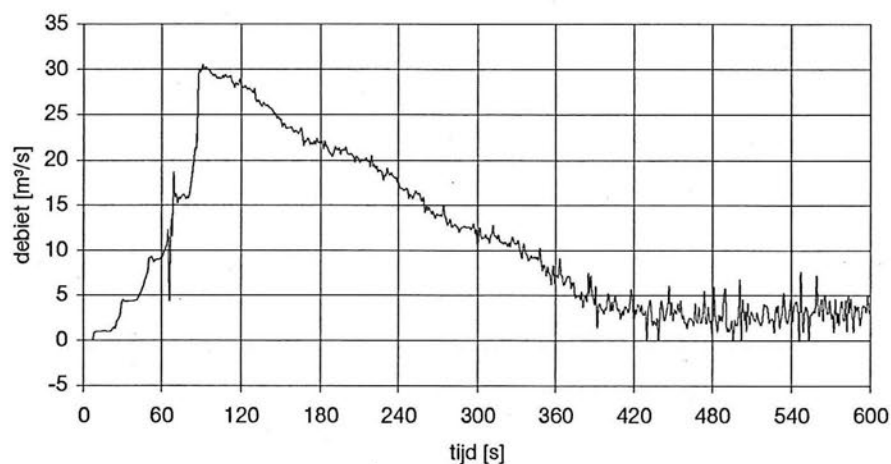
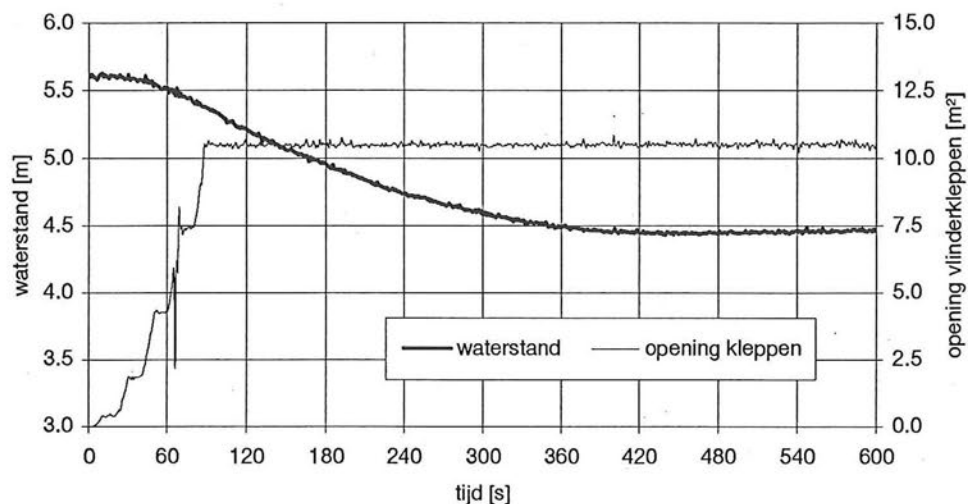




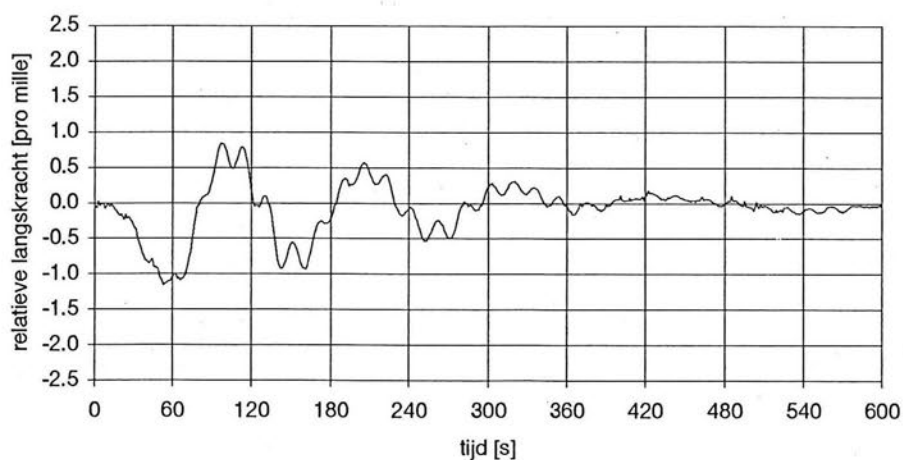
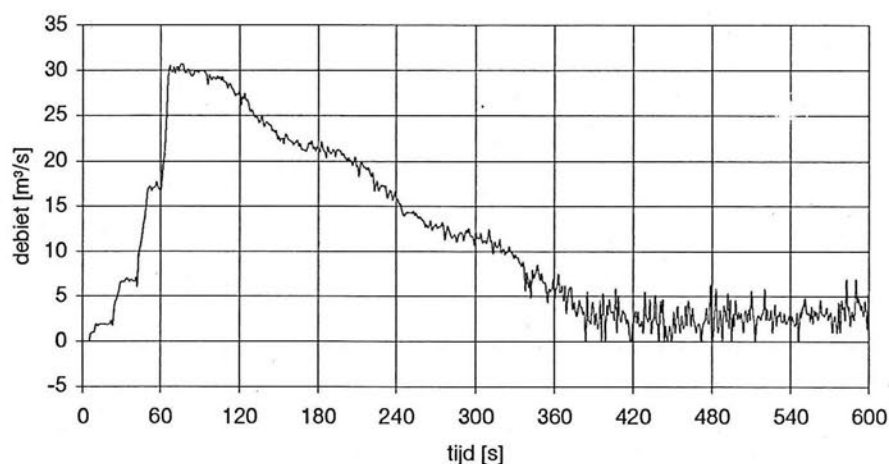
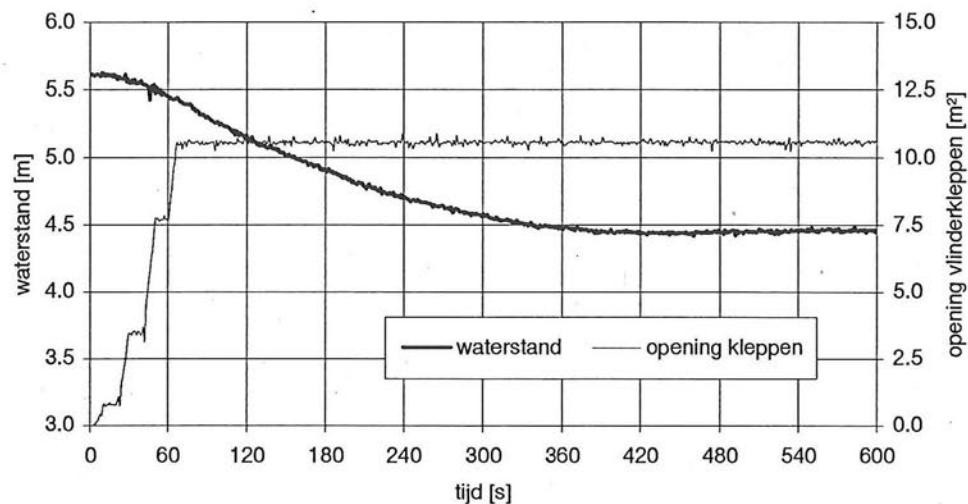
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B039



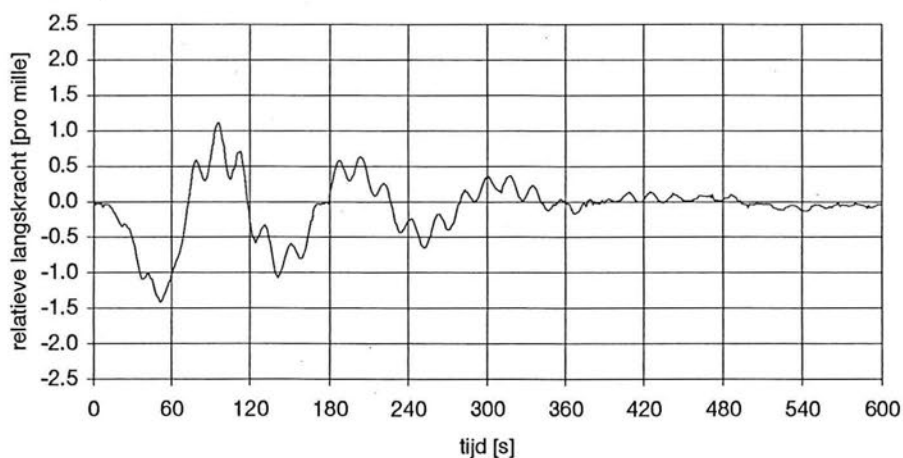
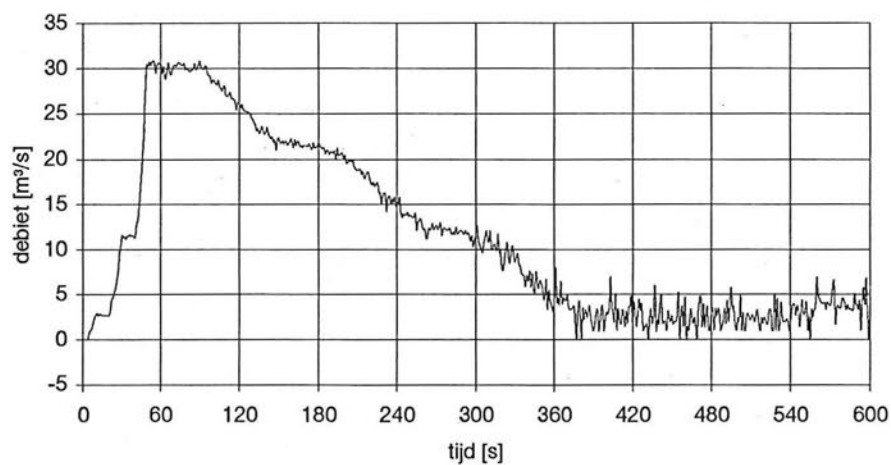
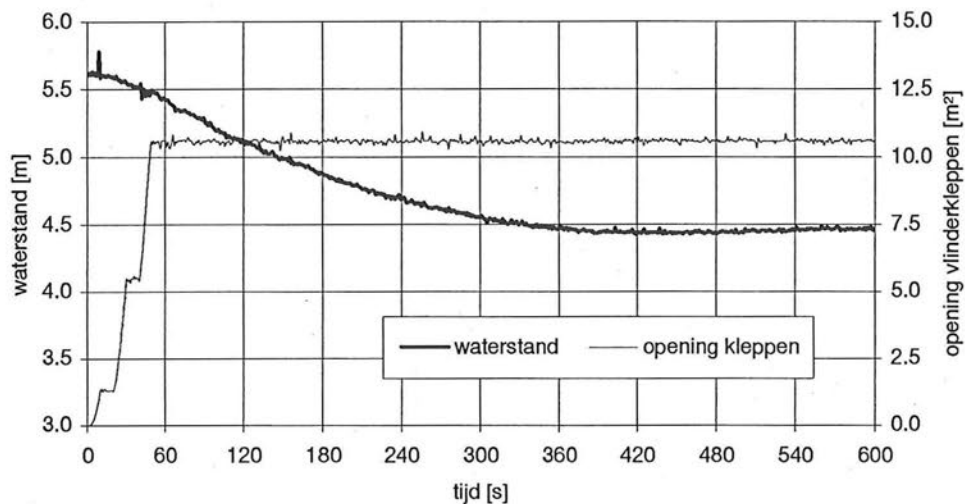
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B040



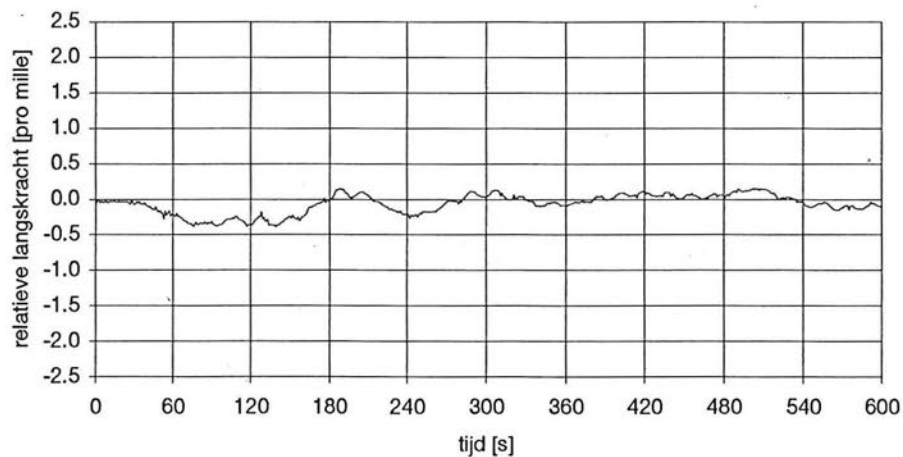
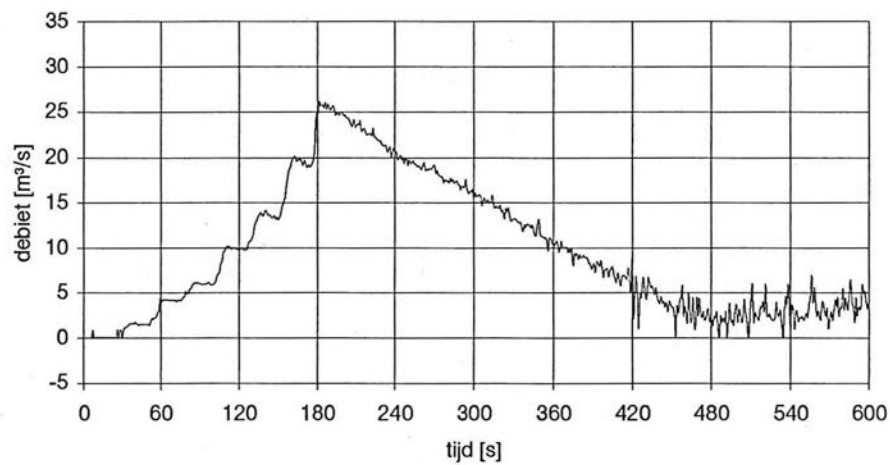
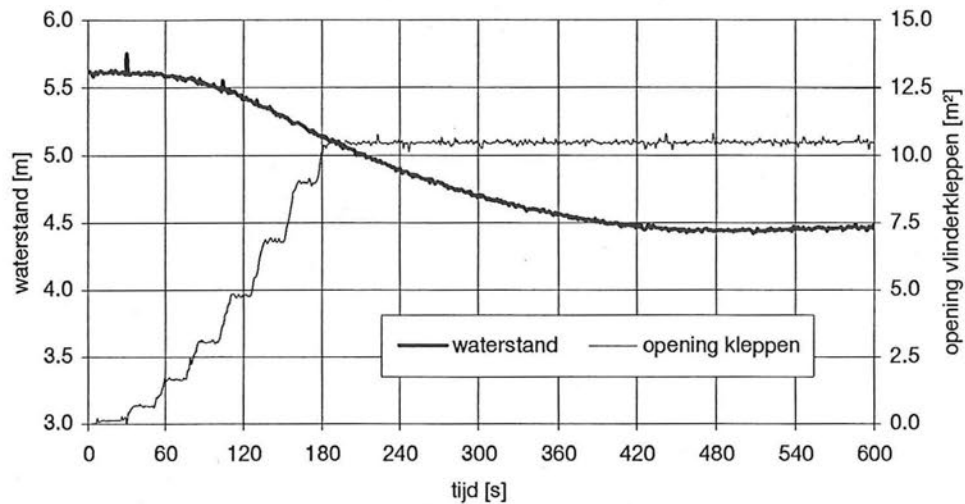
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B041



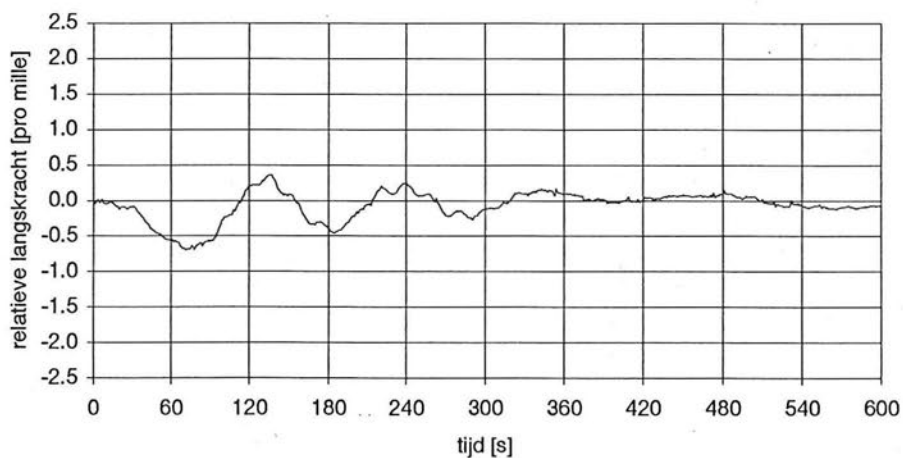
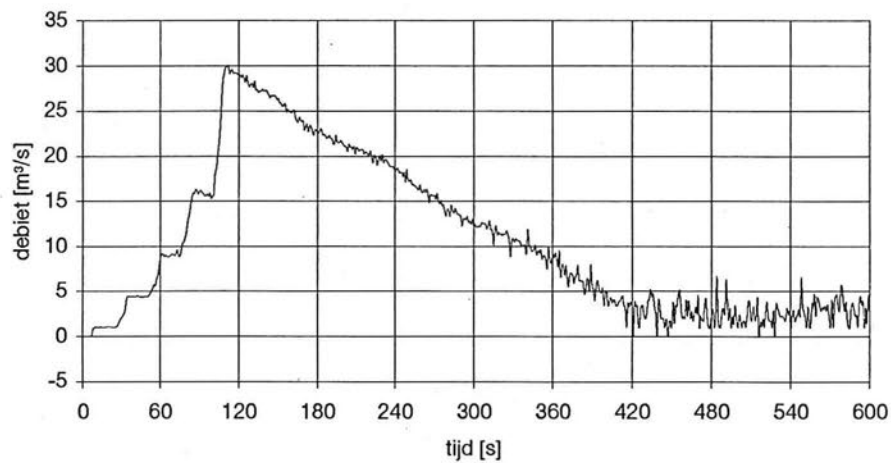
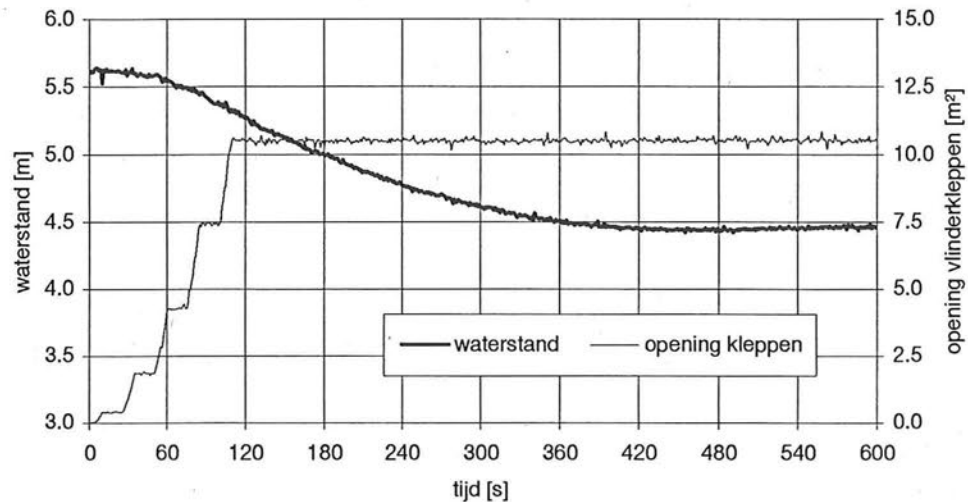
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B042



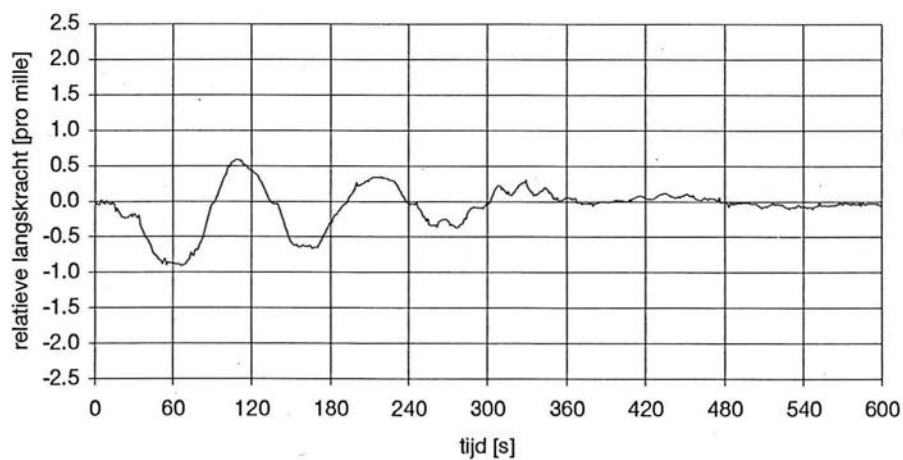
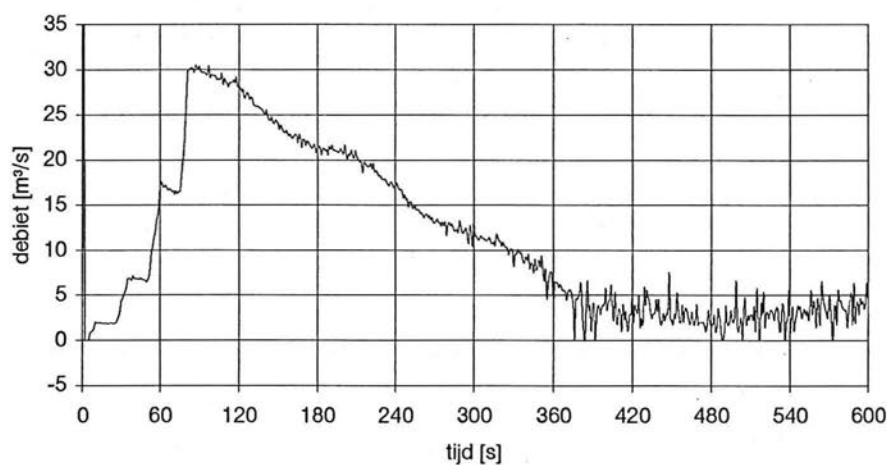
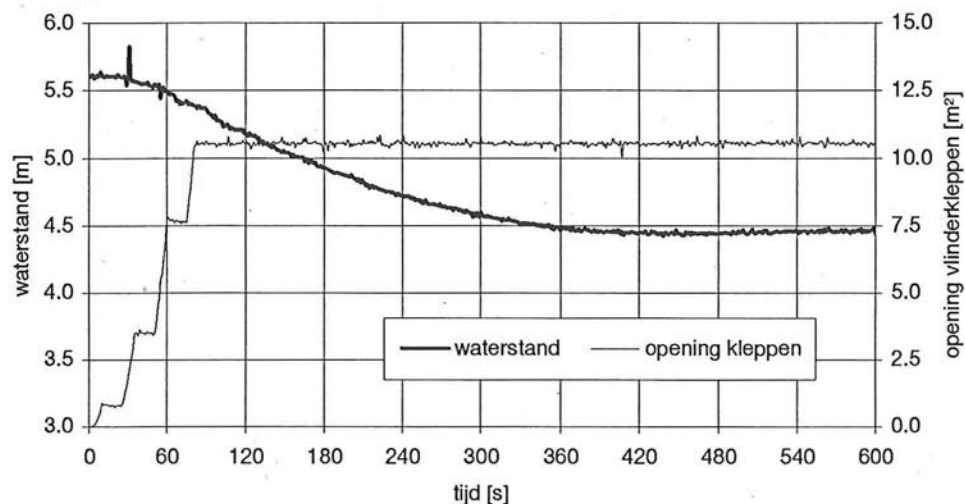
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B043



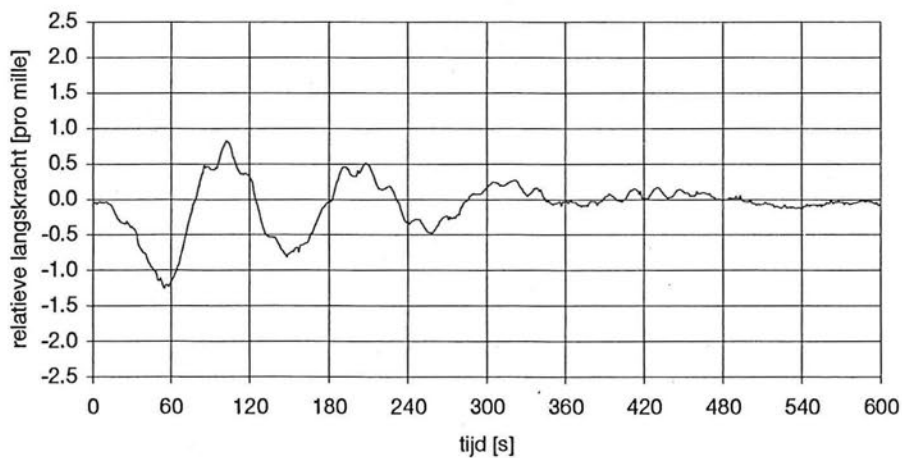
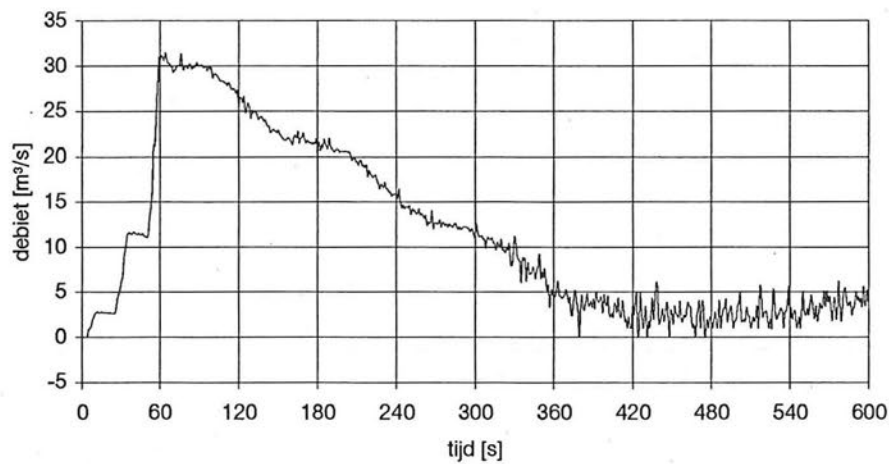
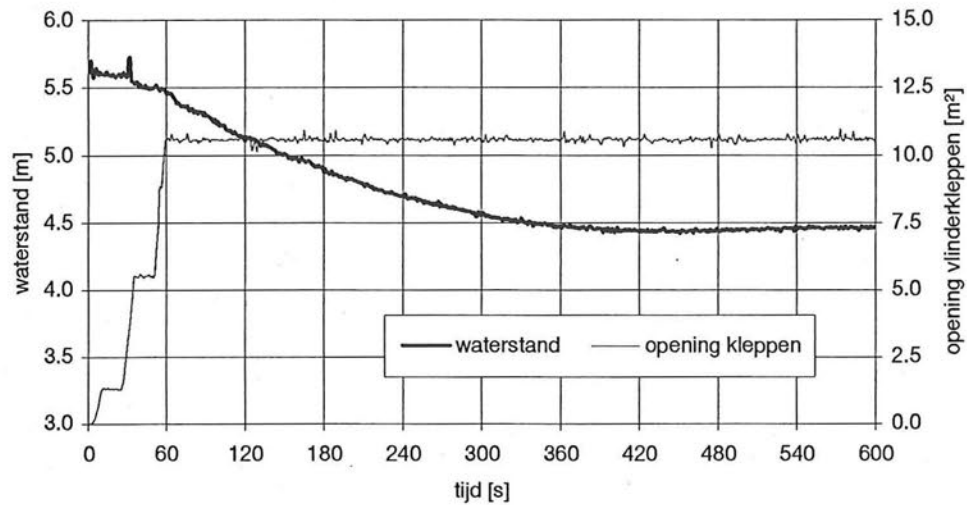
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B044

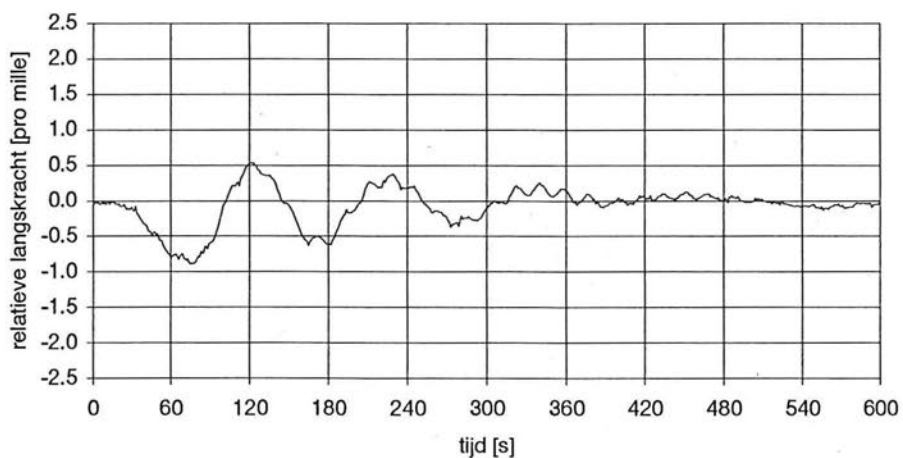
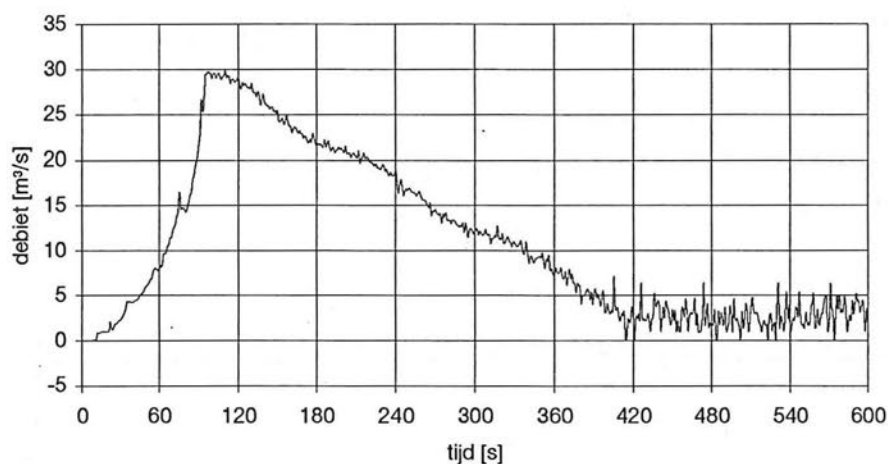
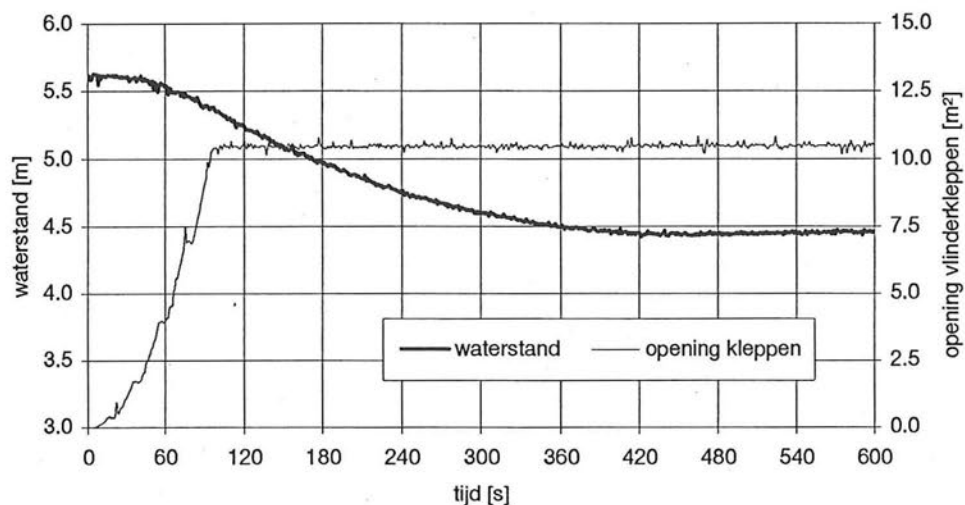


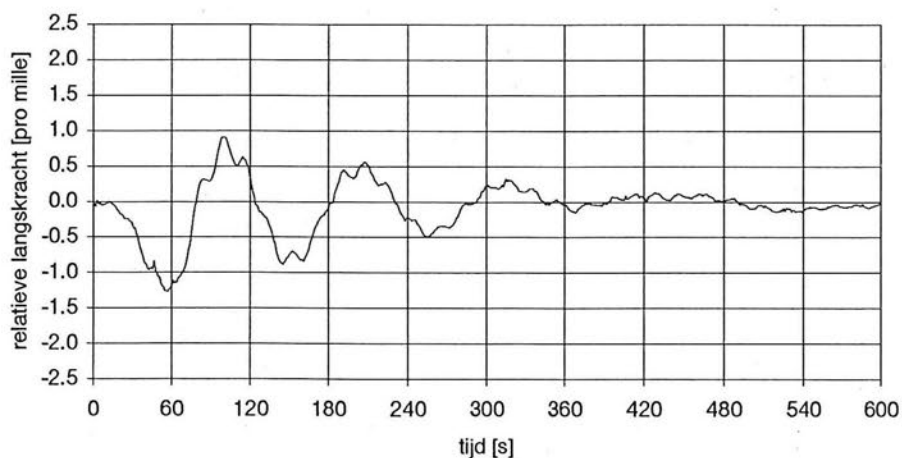
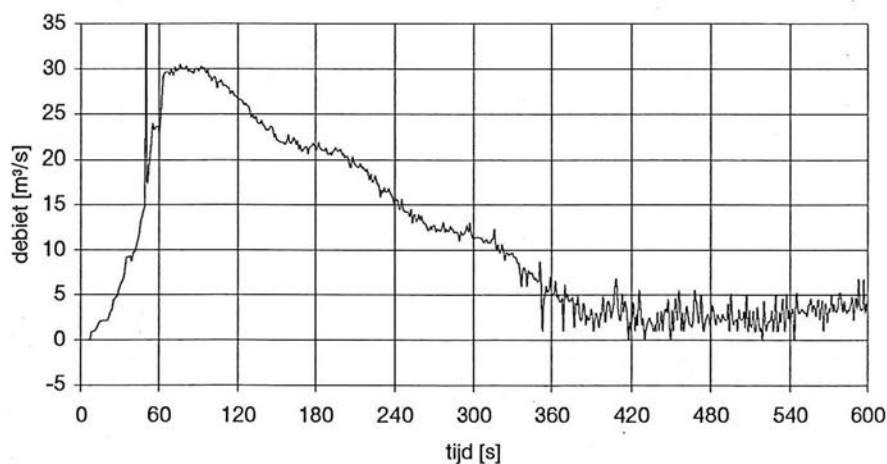
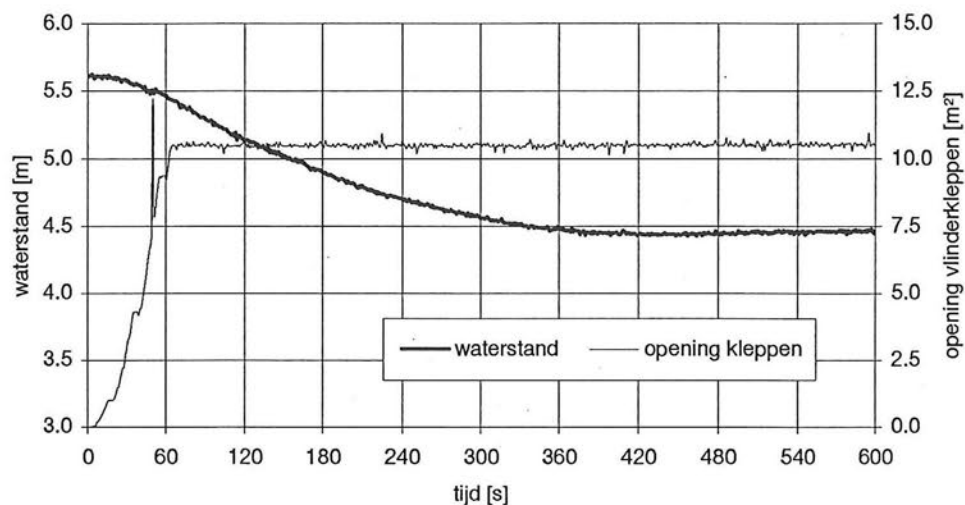
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B045



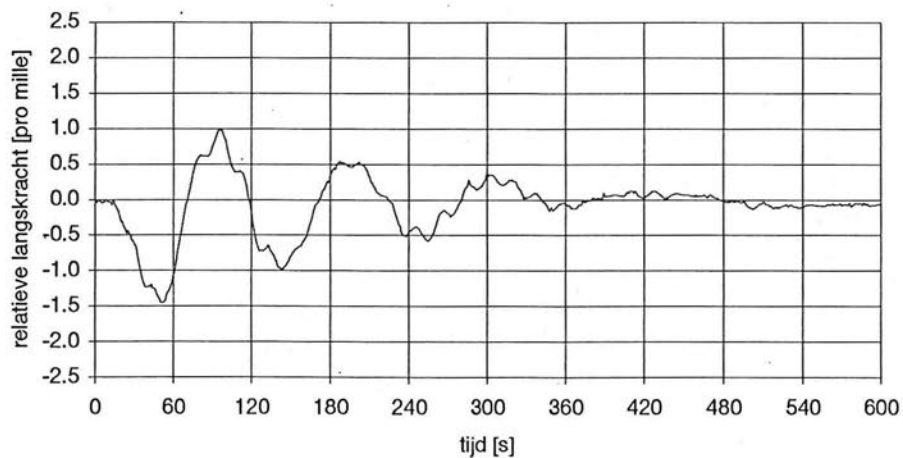
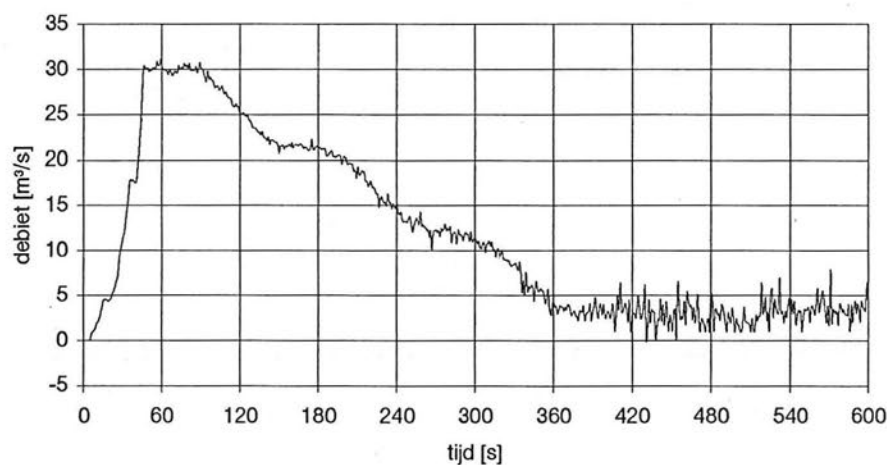
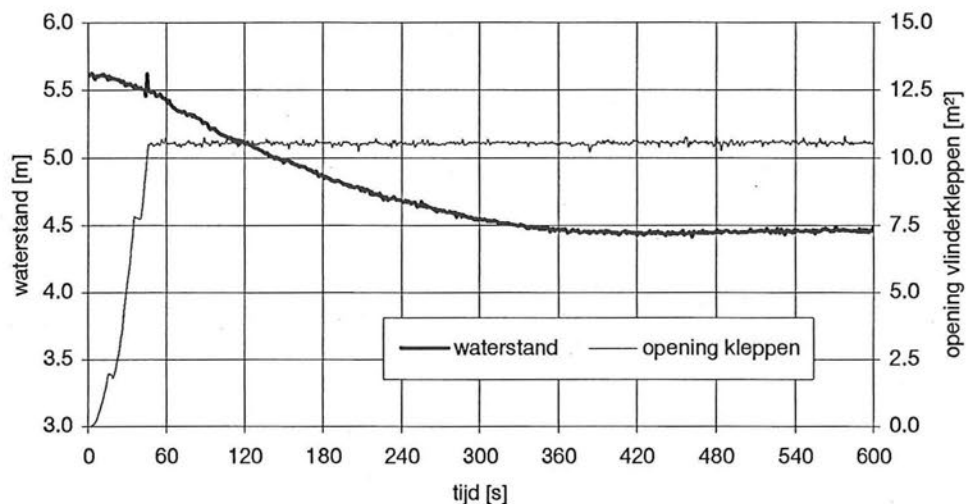
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B046

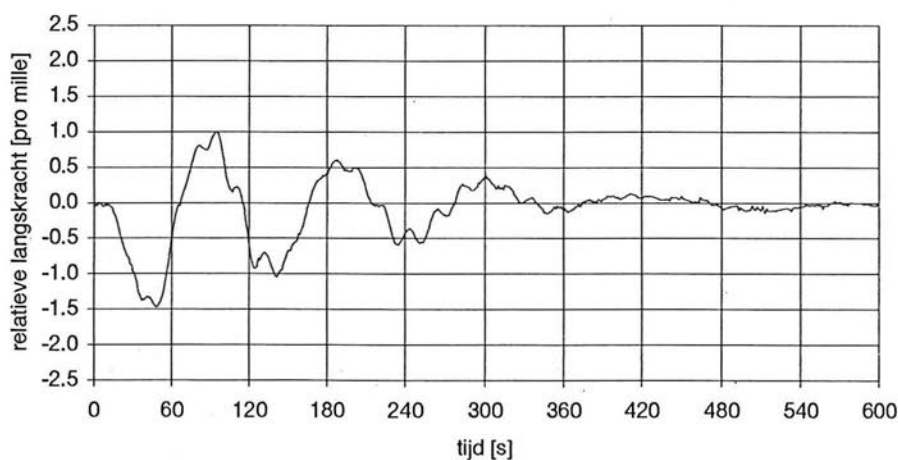
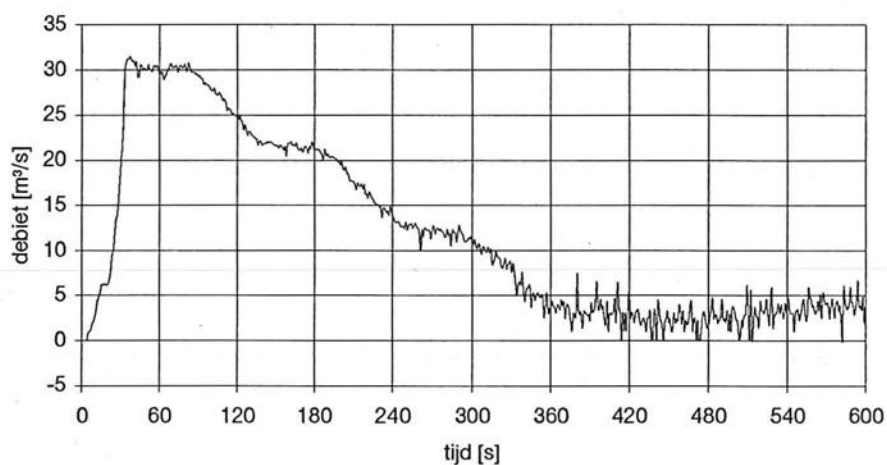
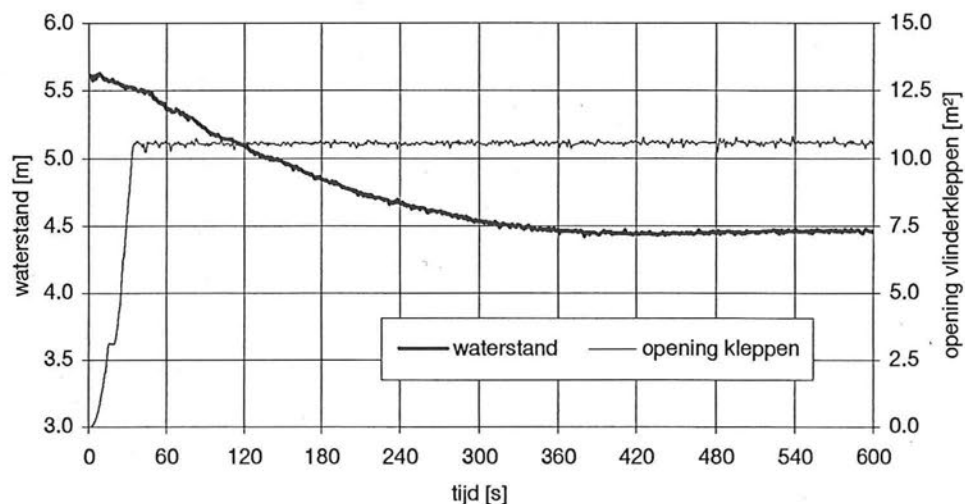


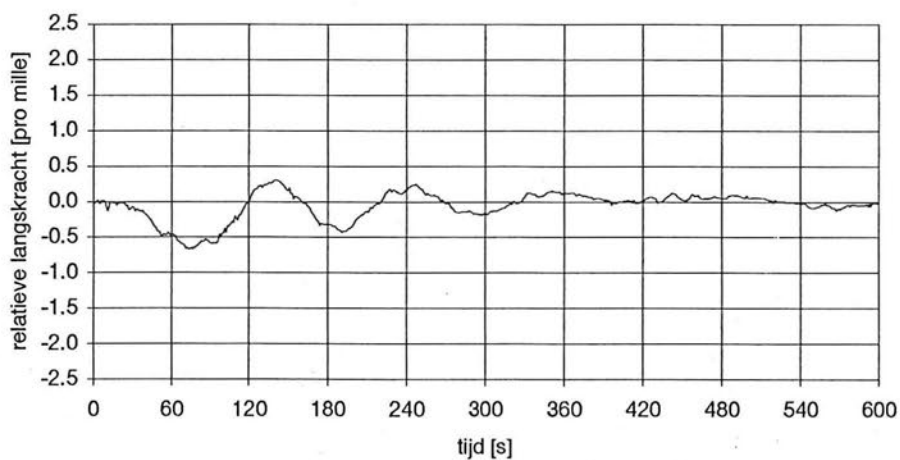
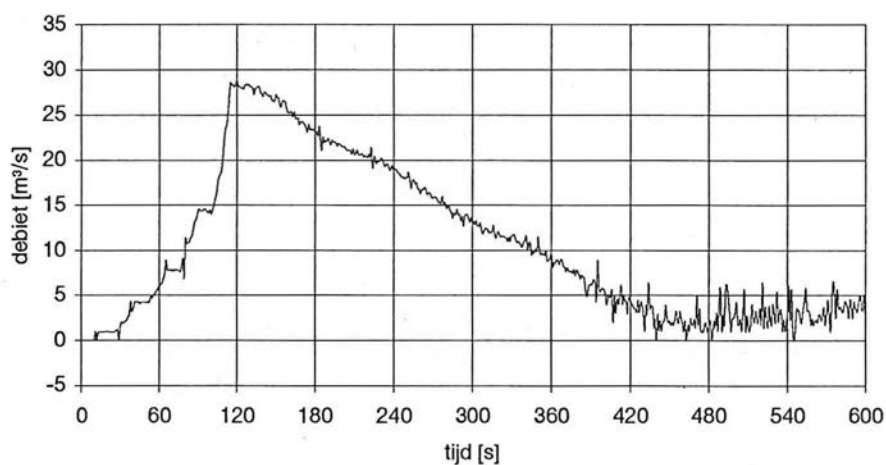
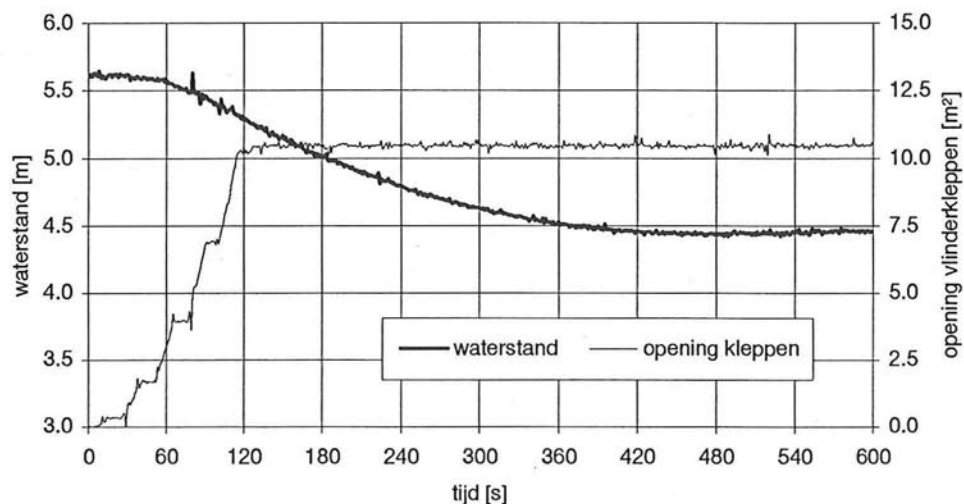
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B047


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B048


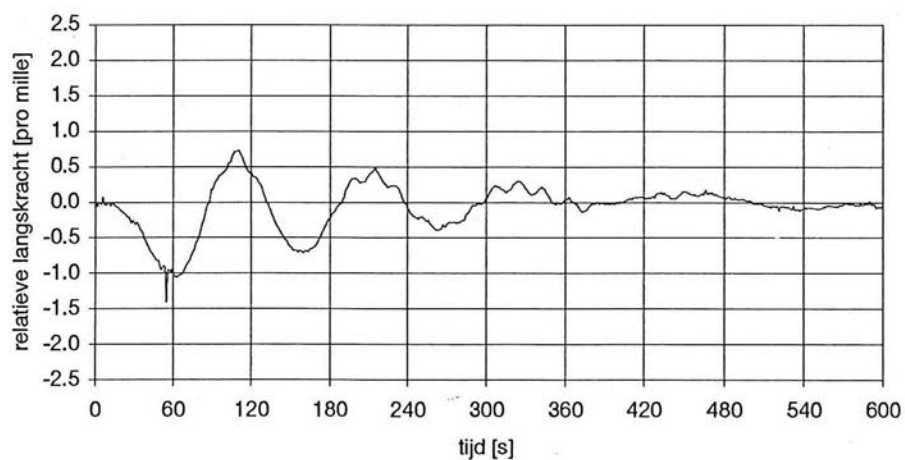
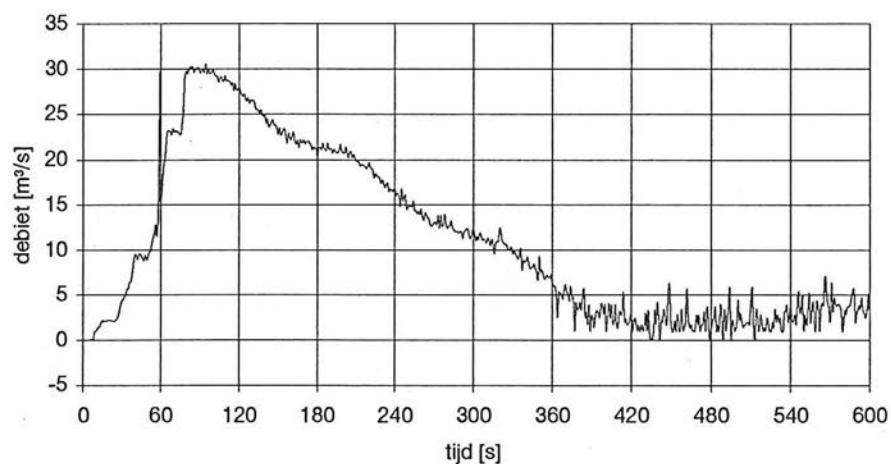
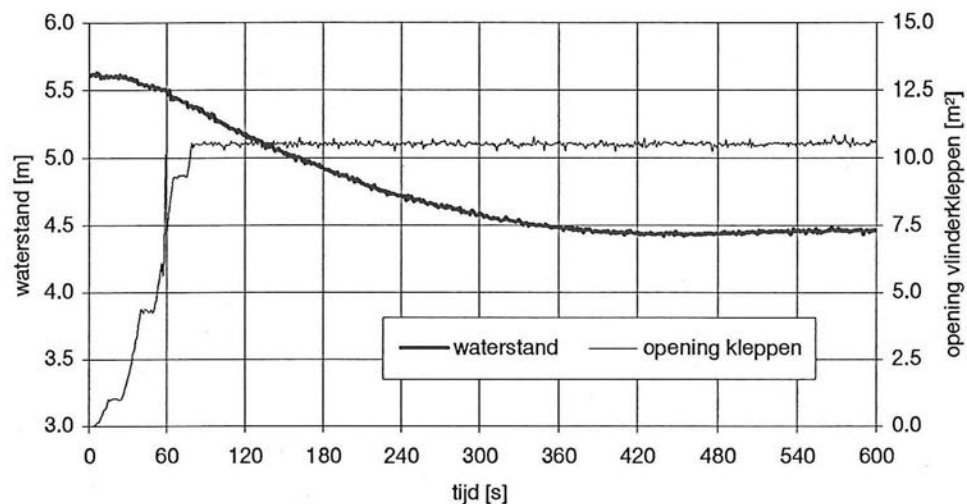
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B049



LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B050


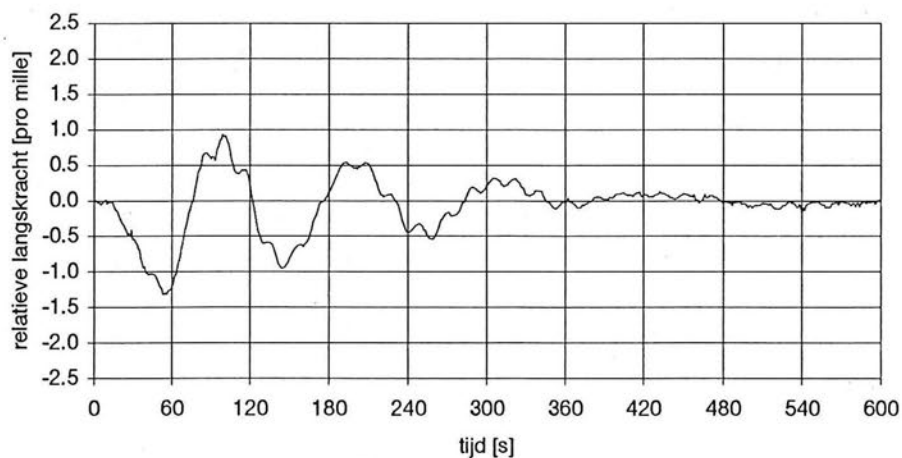
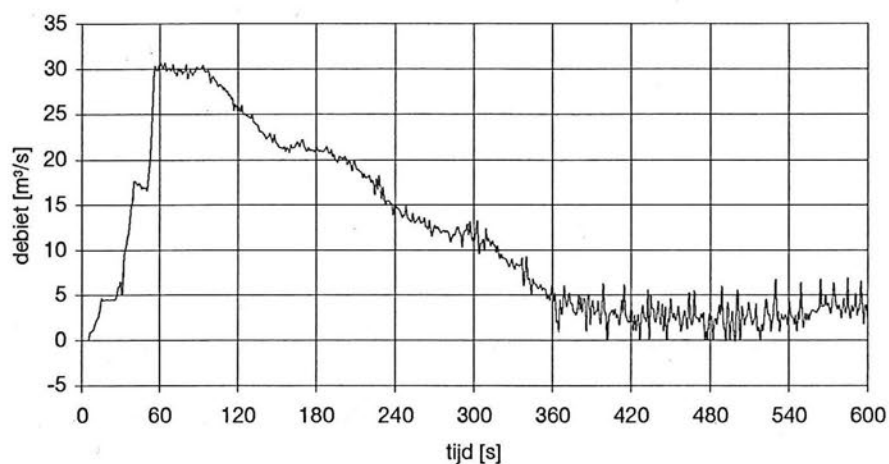
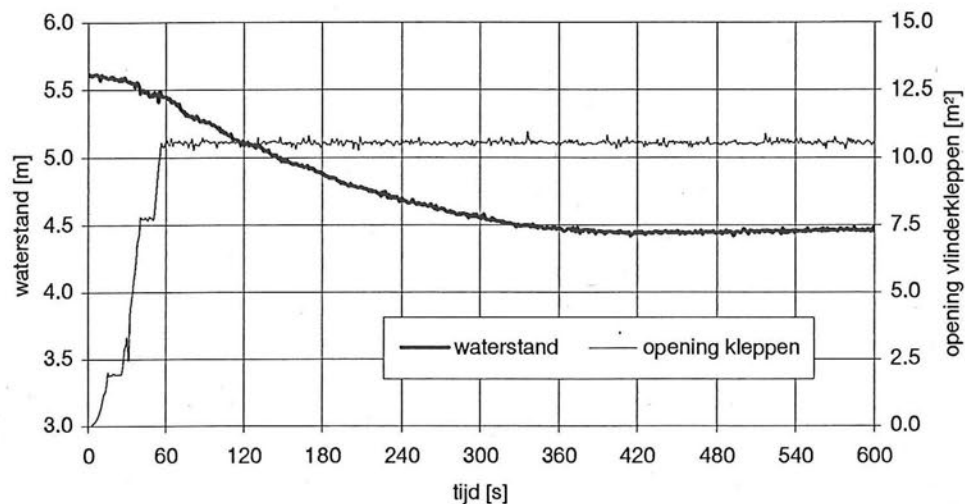
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B051


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B052

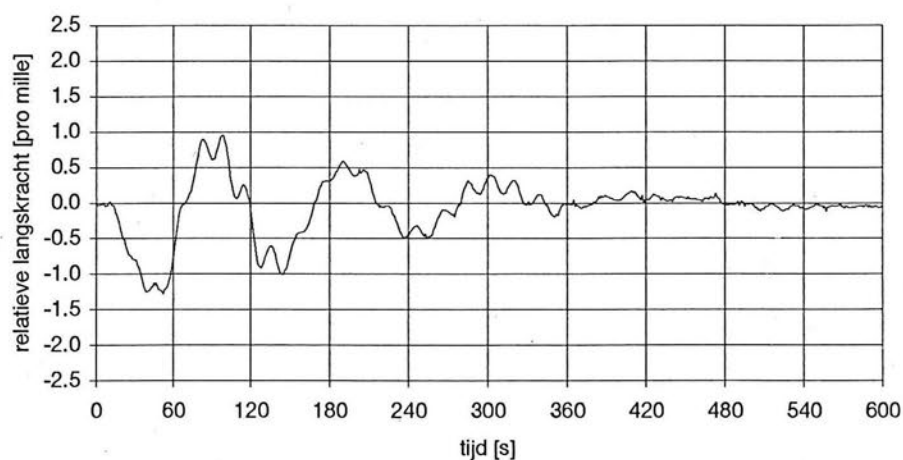
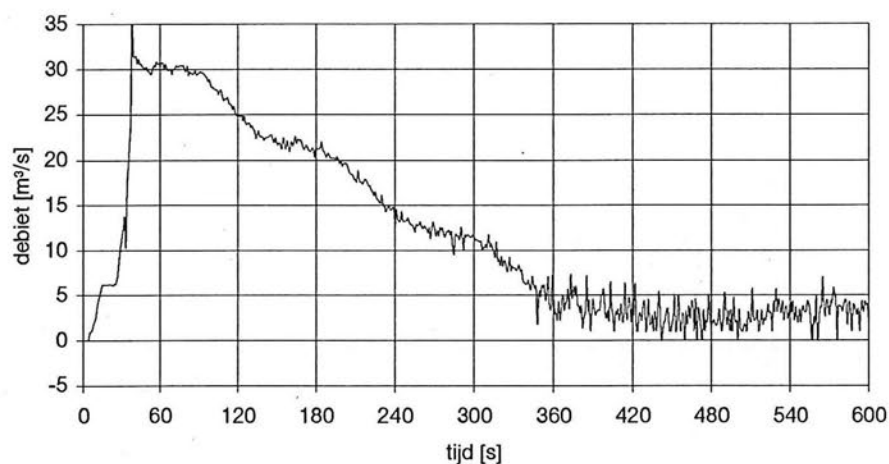
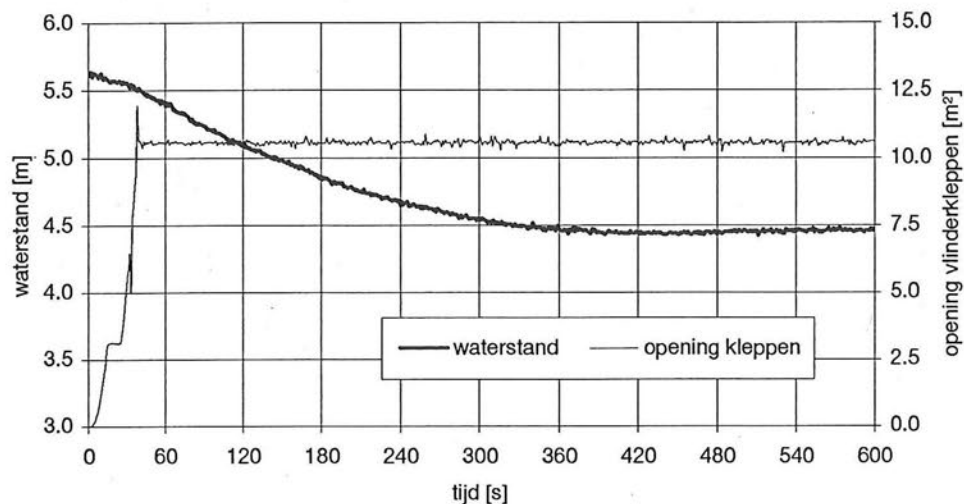




LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B053

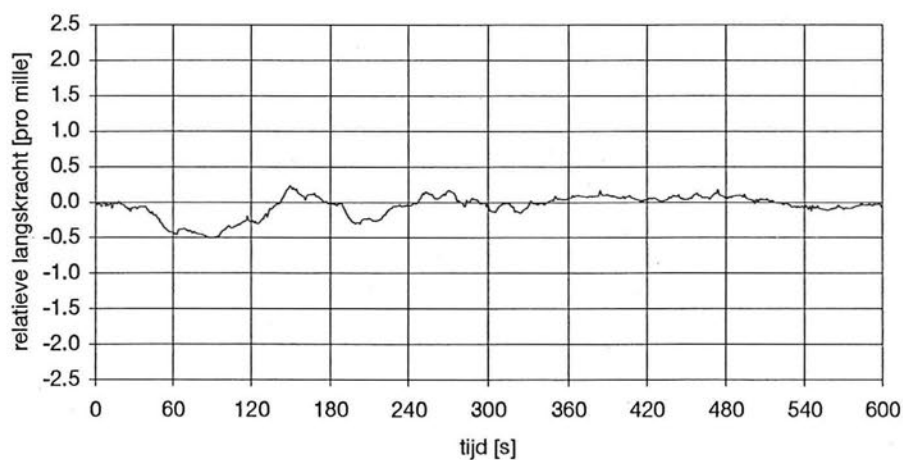
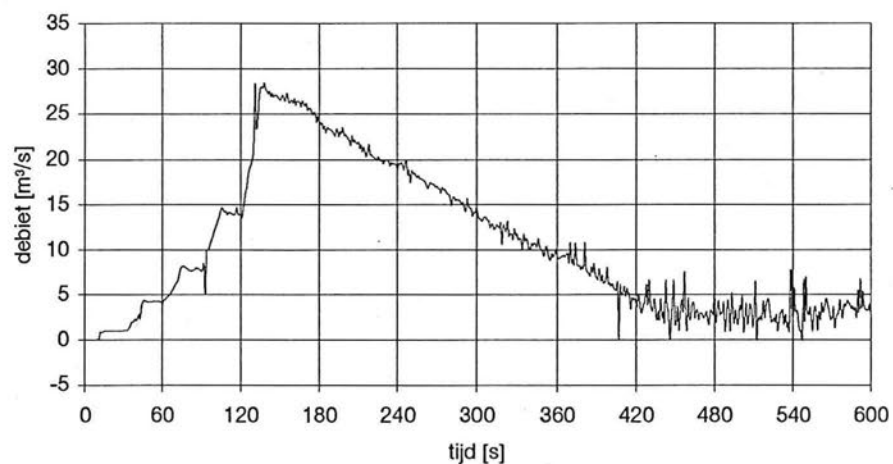
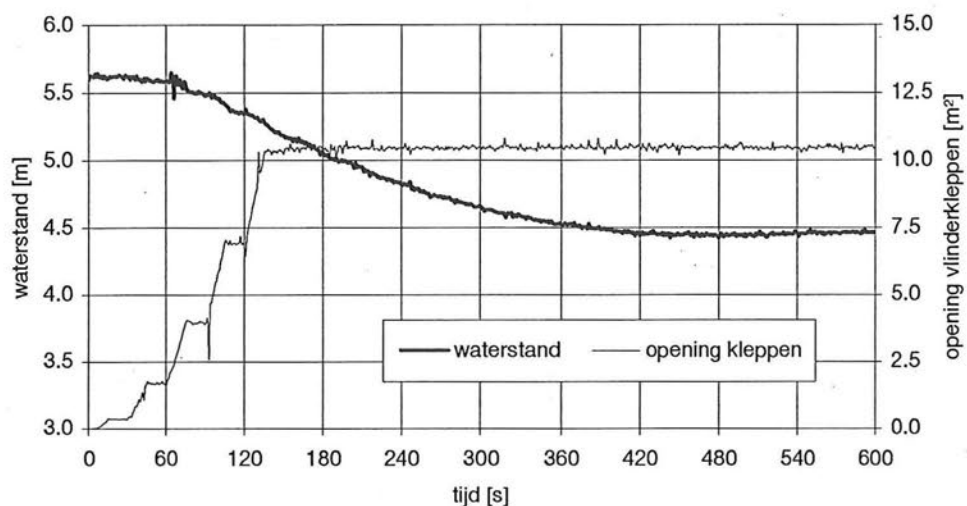


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B054

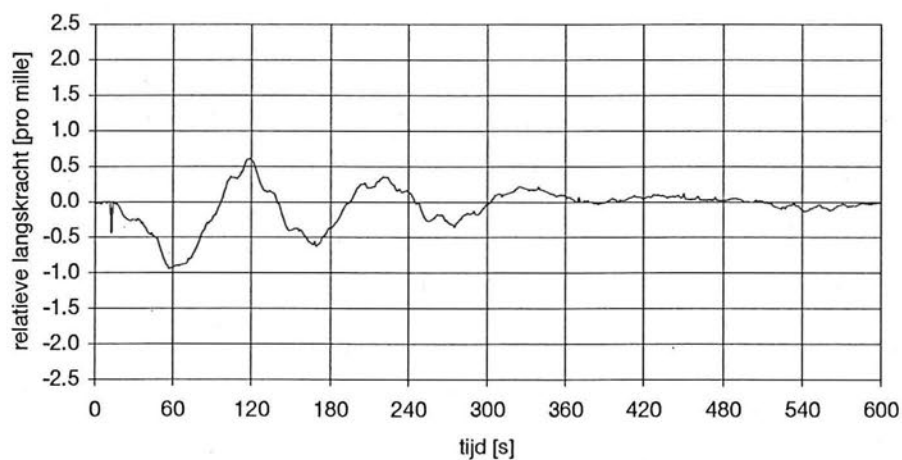
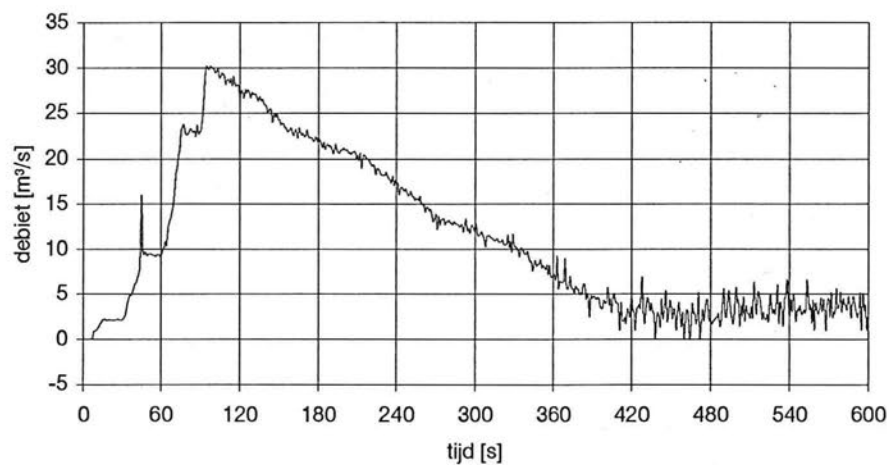
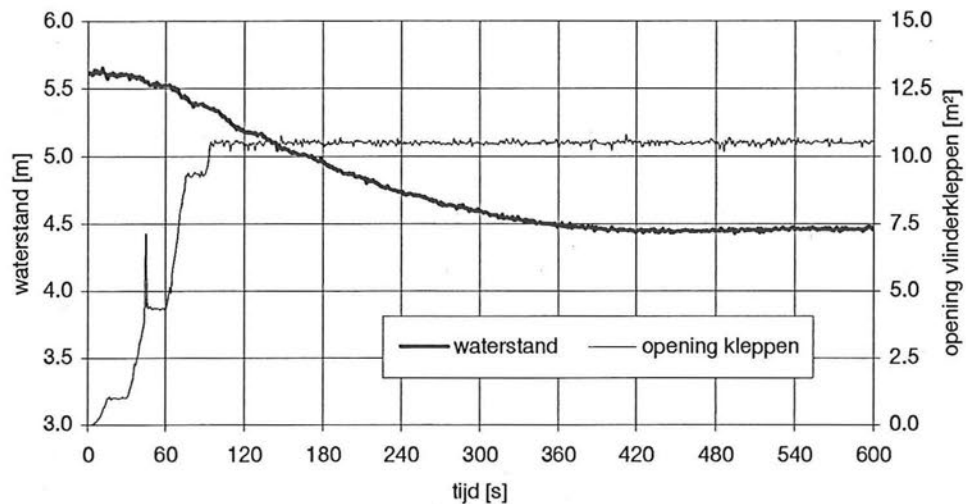




LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B055

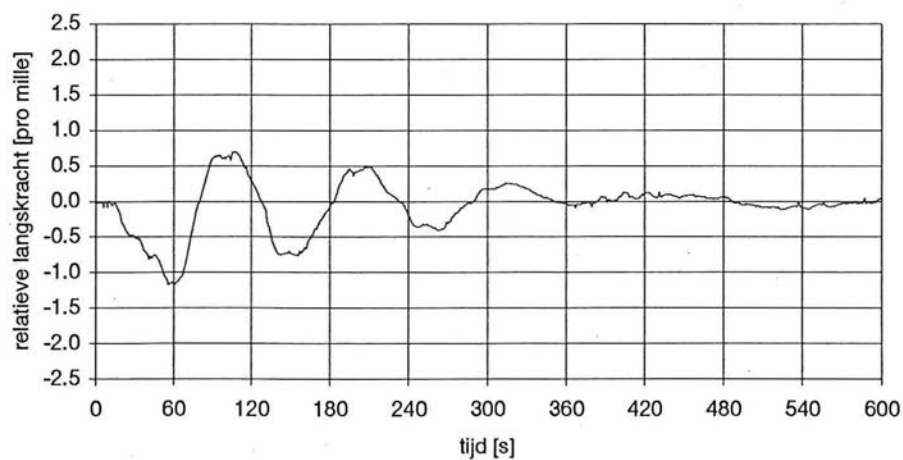
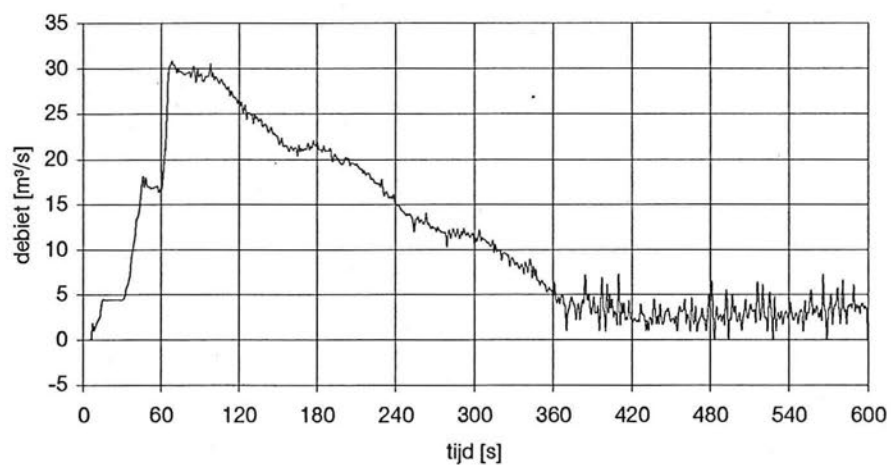
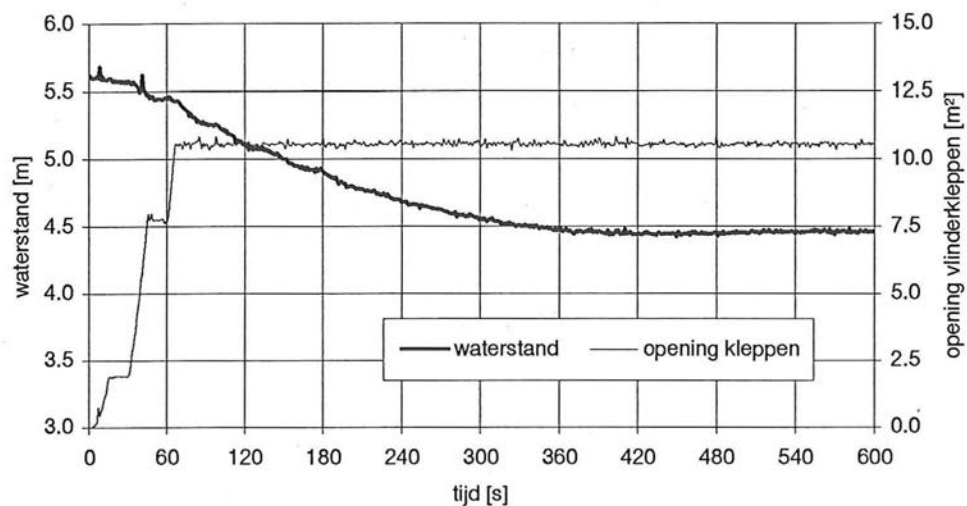


LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B056

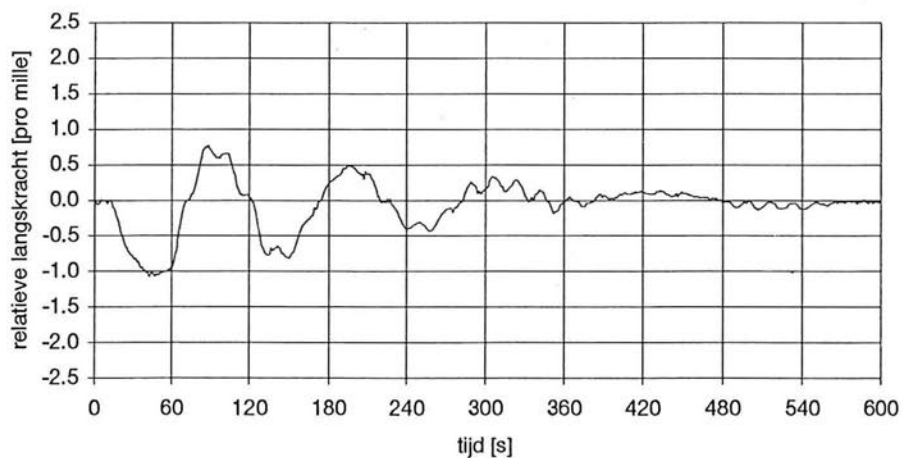
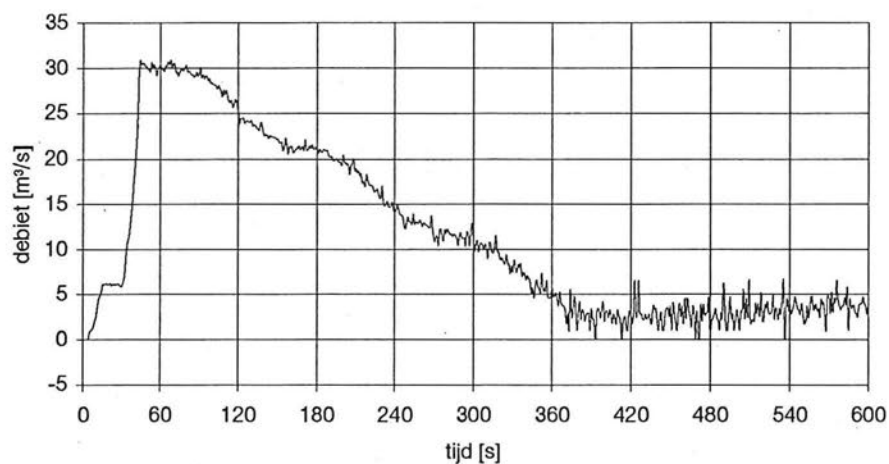
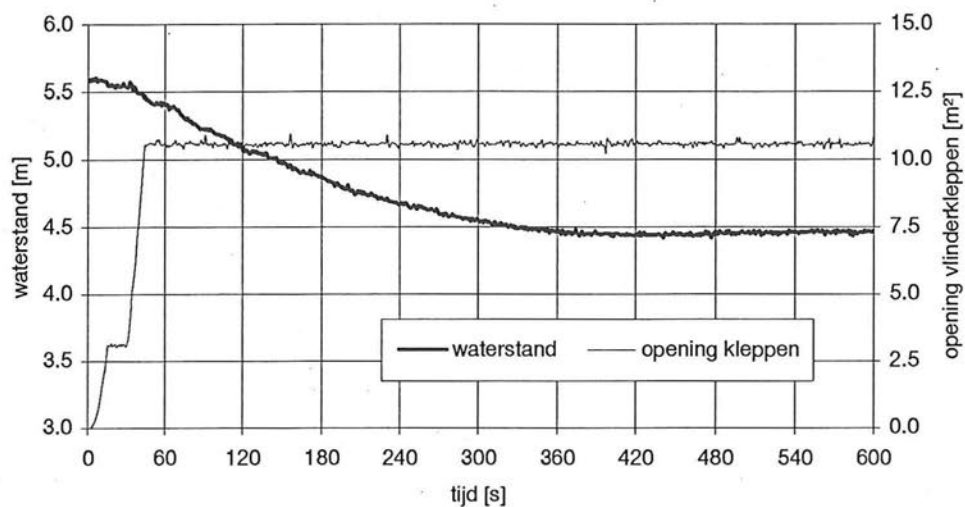




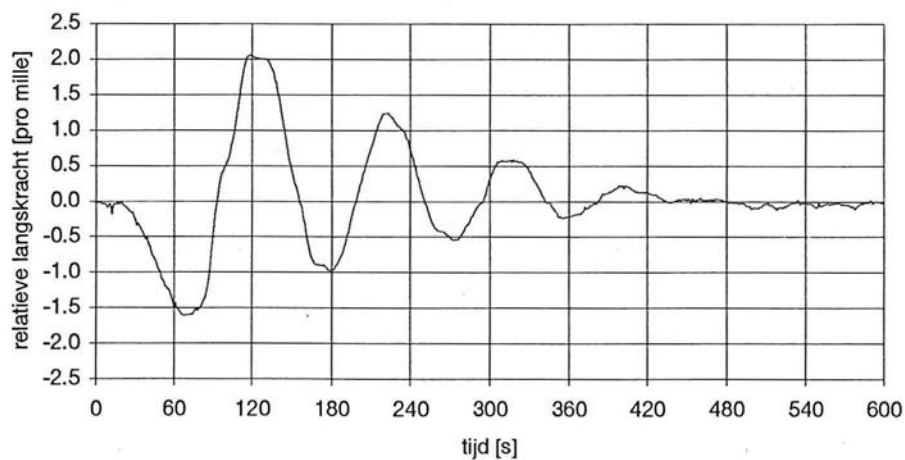
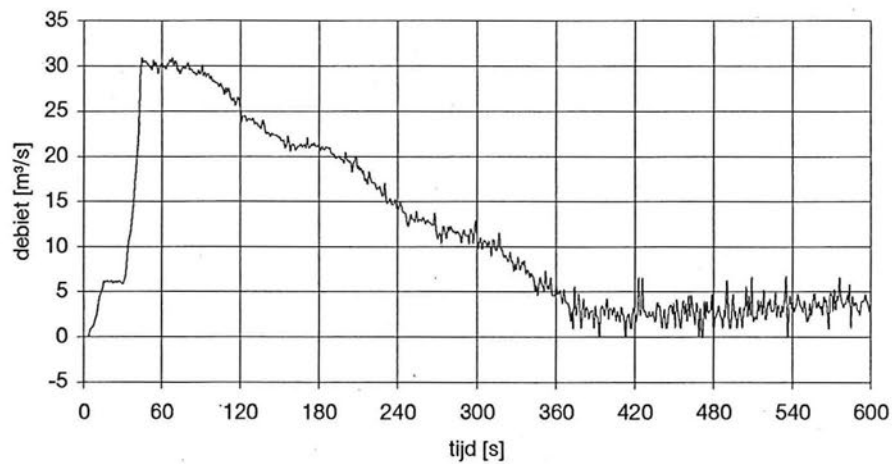
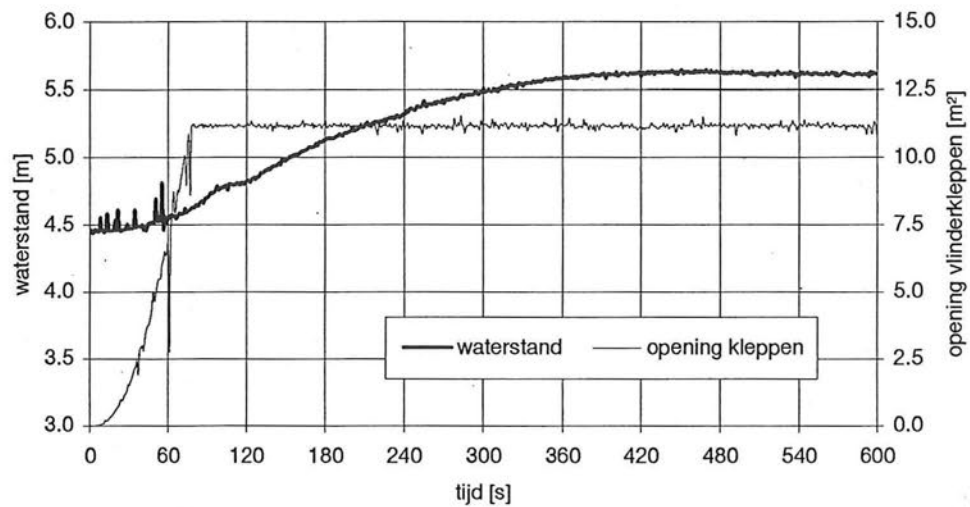
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B057



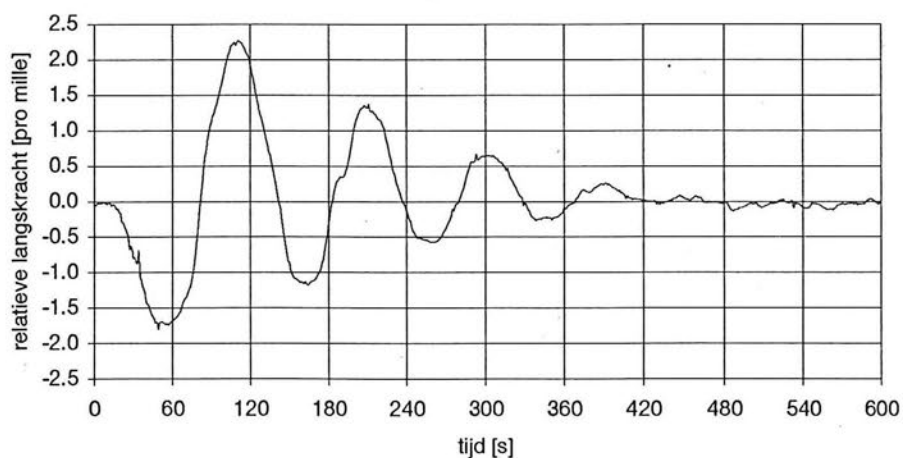
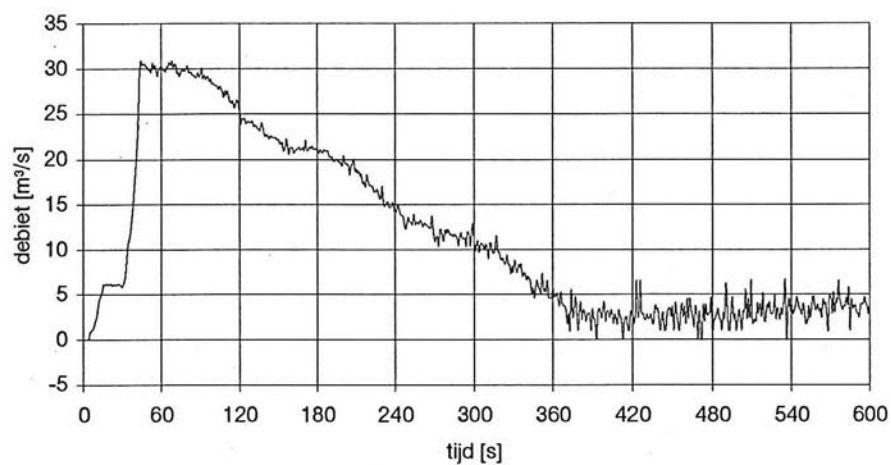
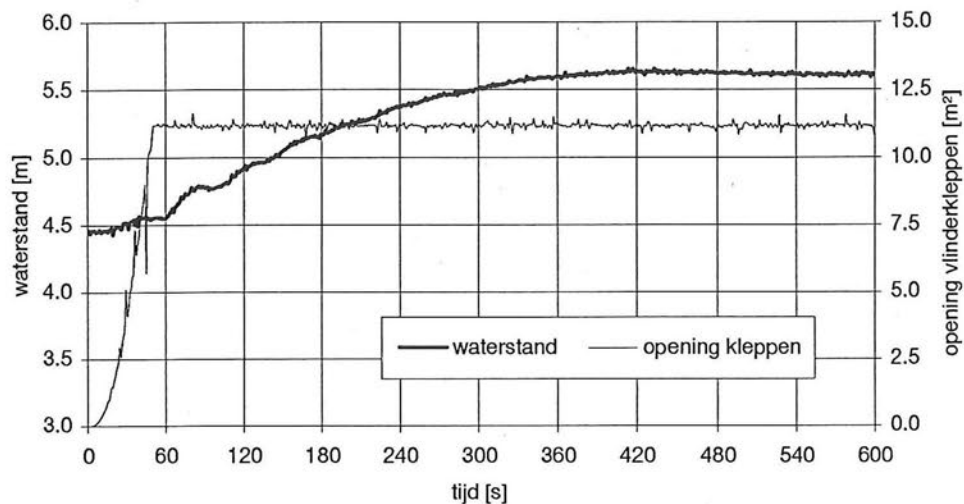
LEDIGING SLUIS
RESULTATEN PROEF L2B058



VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B001

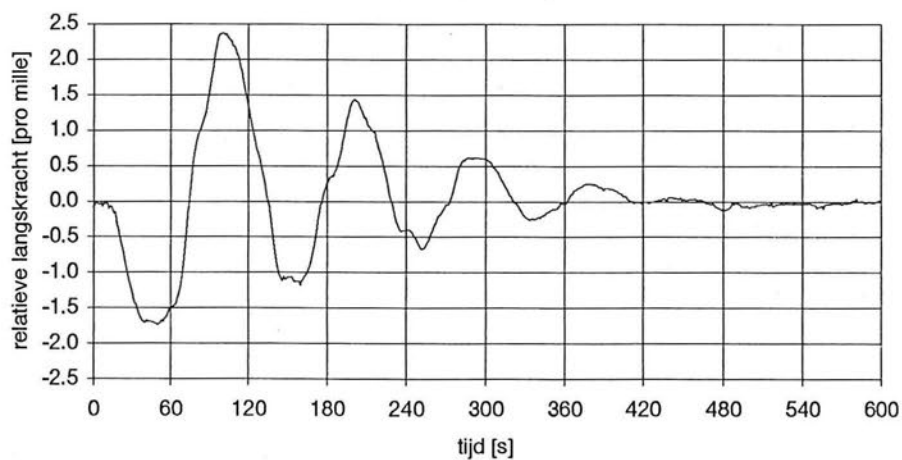
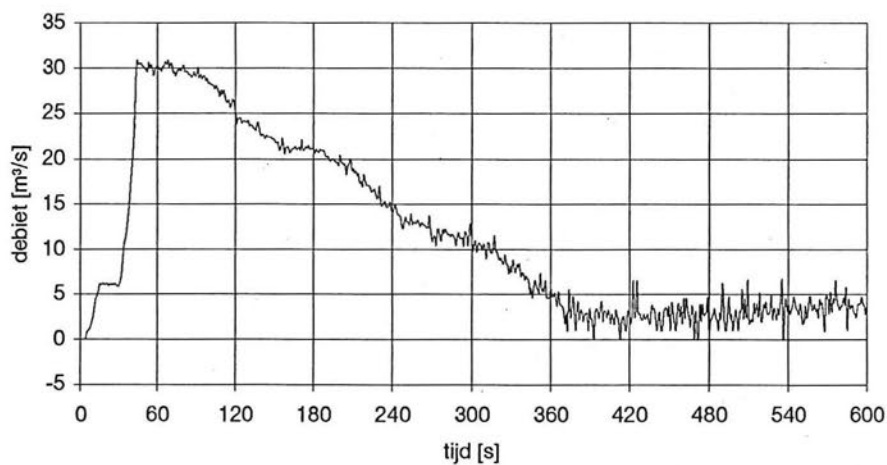
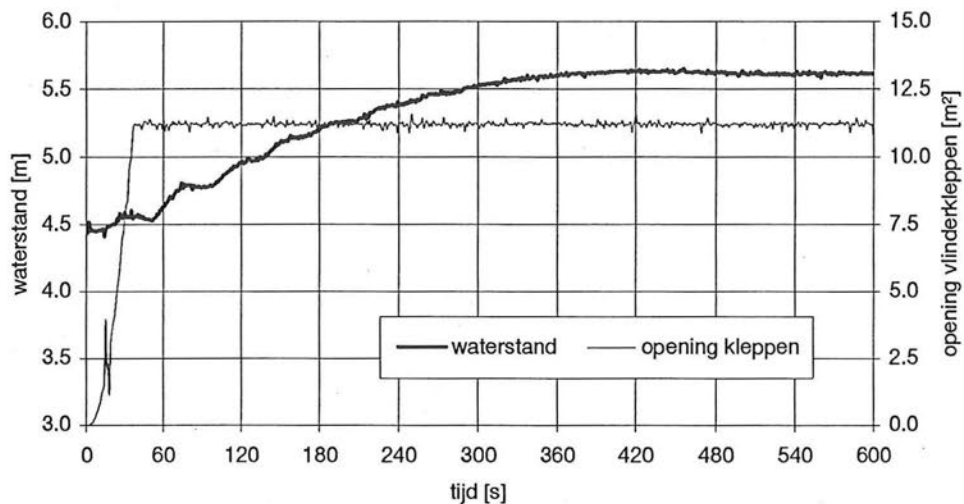


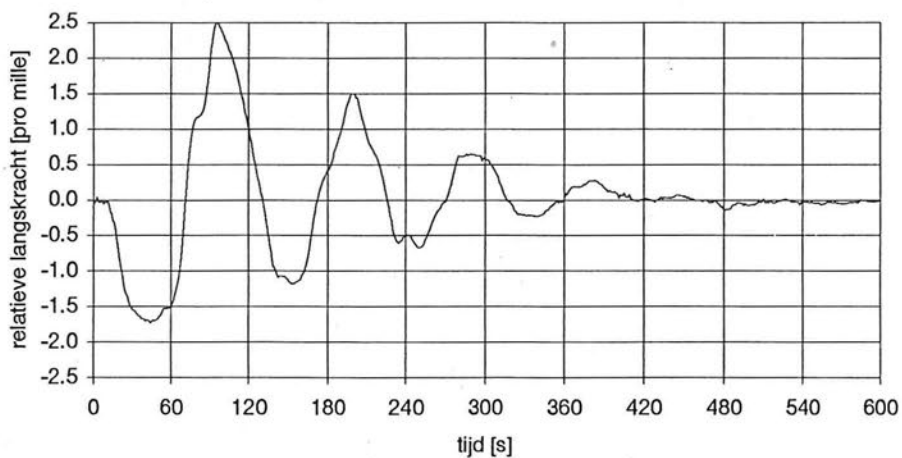
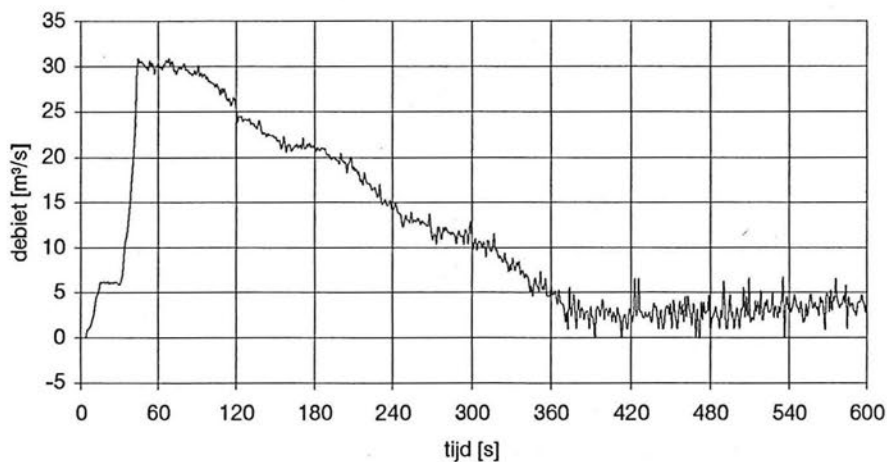
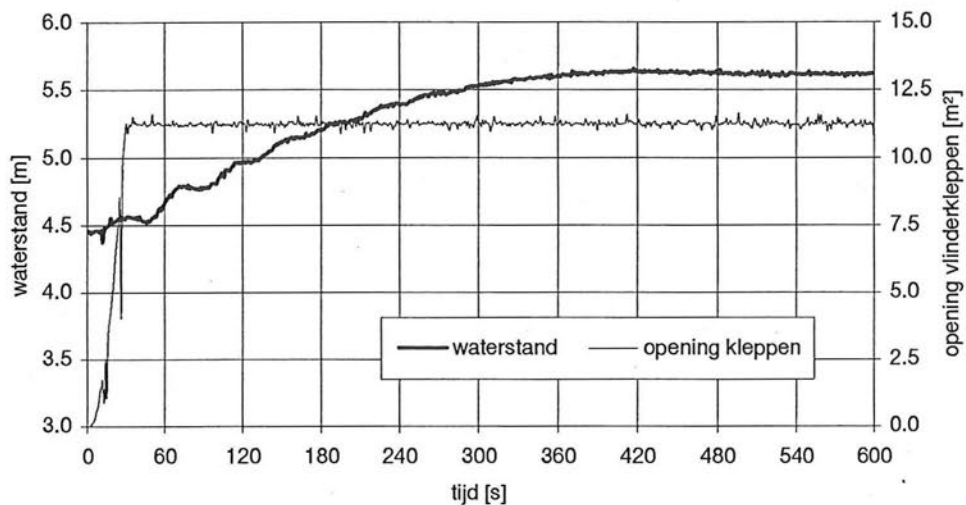
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B002





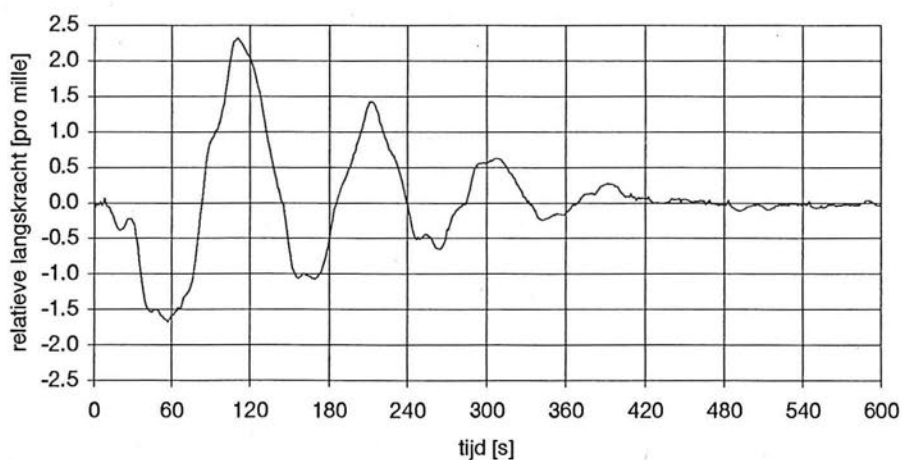
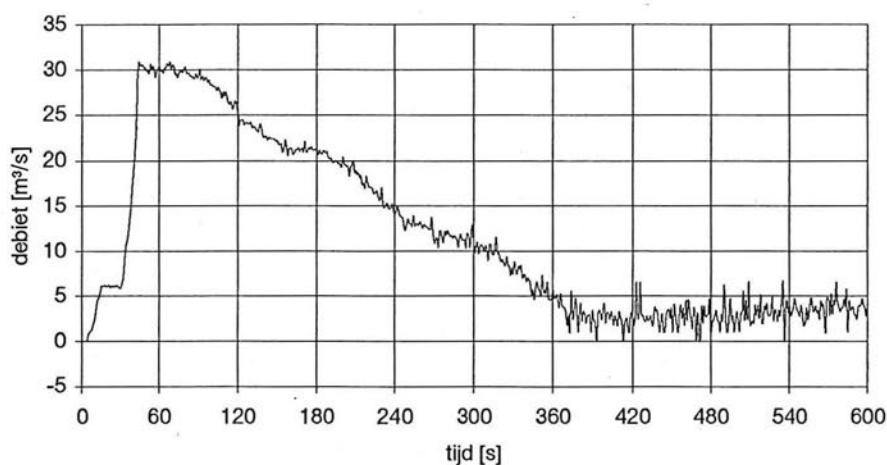
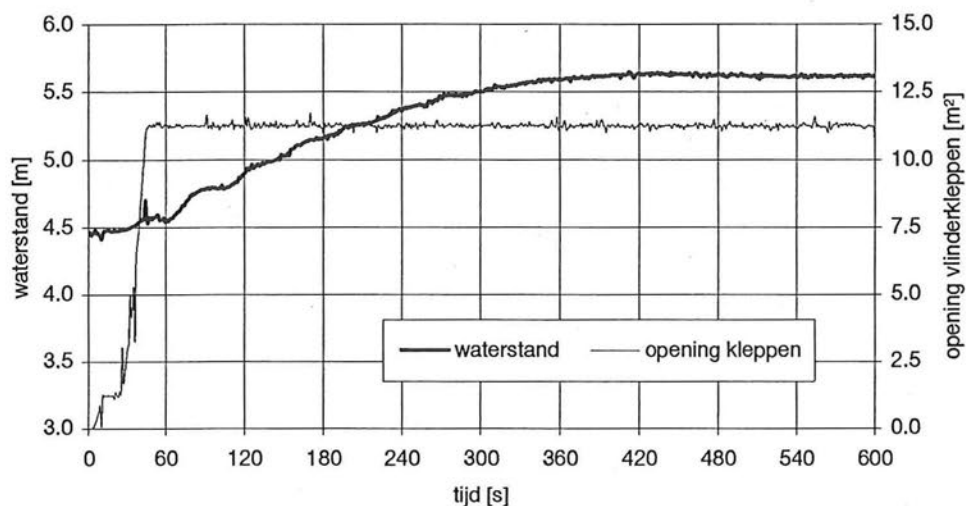
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B003



VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B004


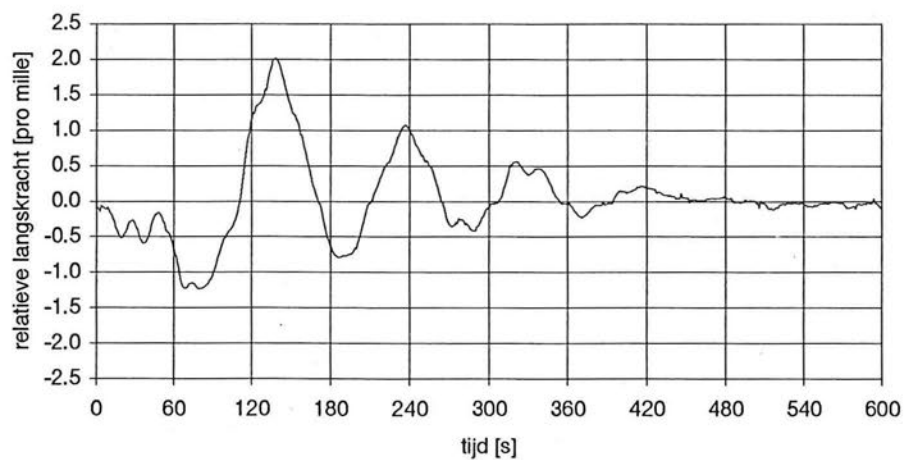
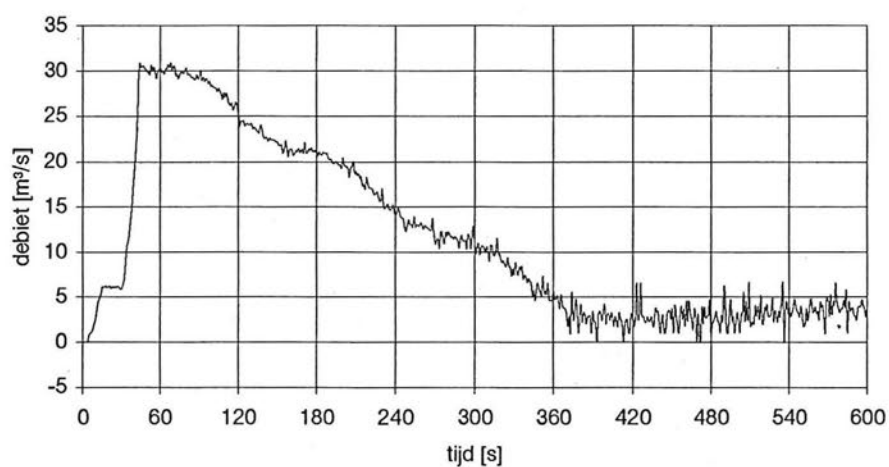
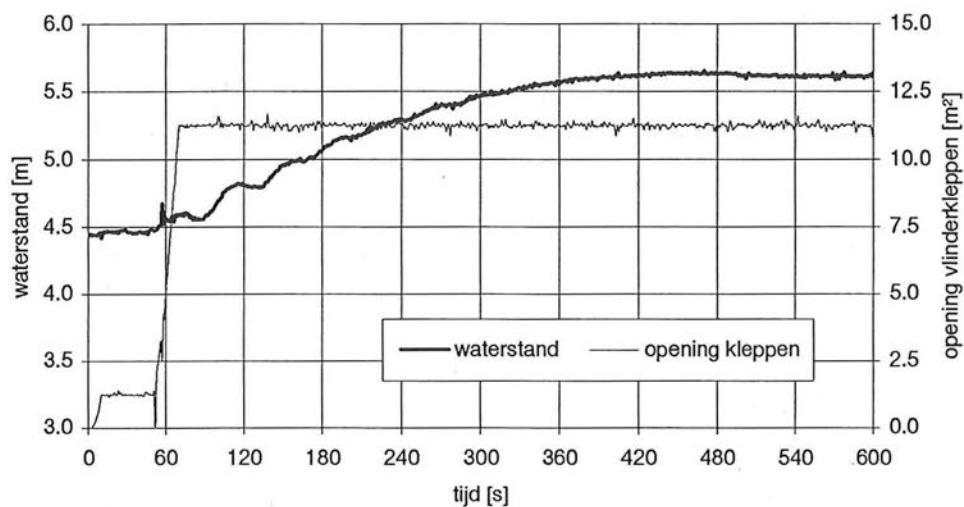


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B005



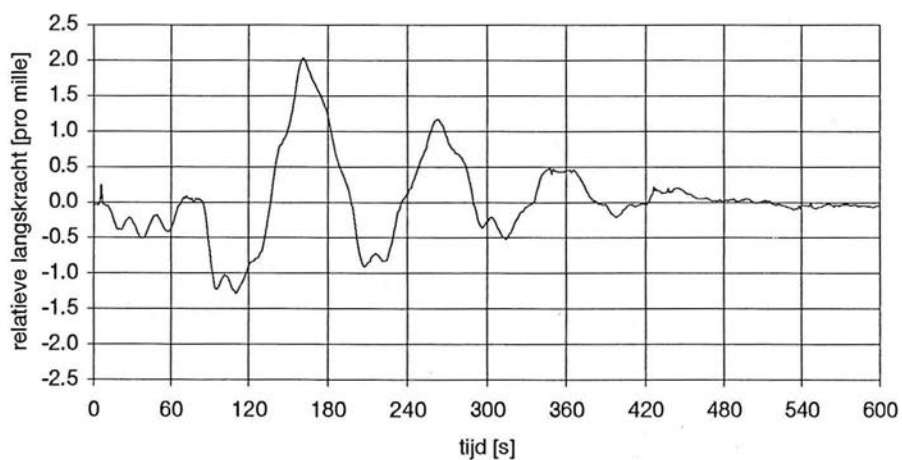
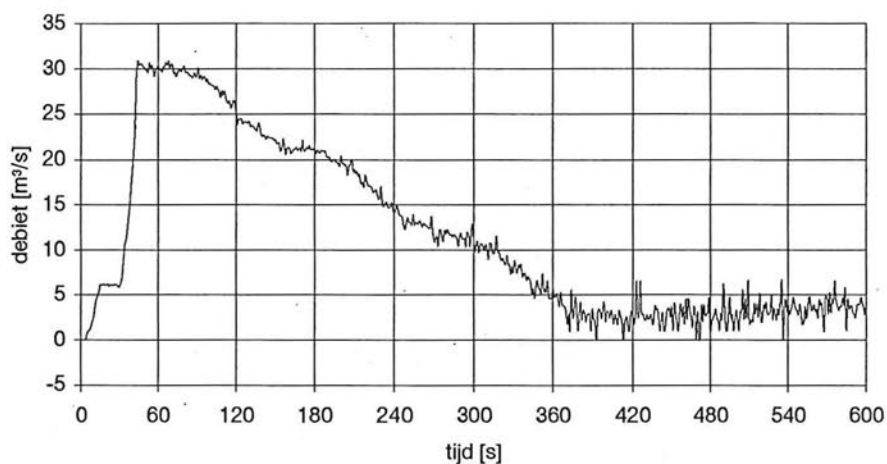
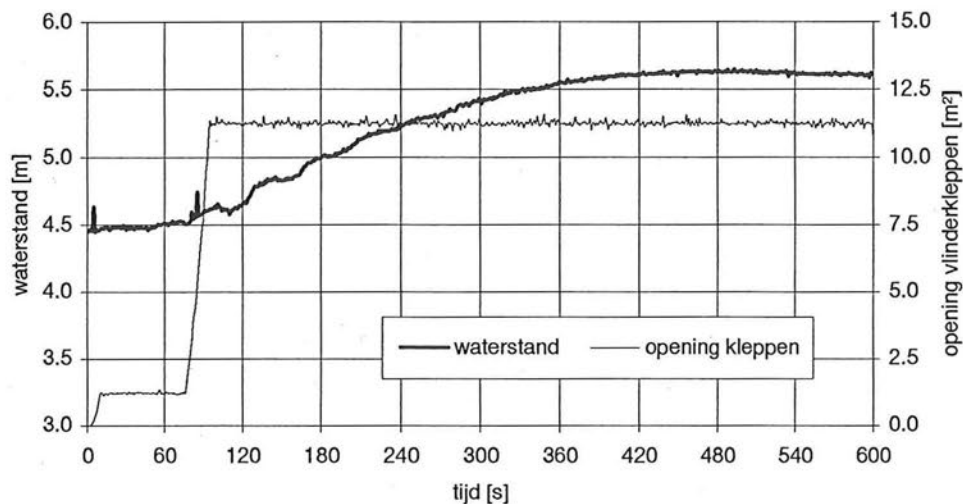


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B006



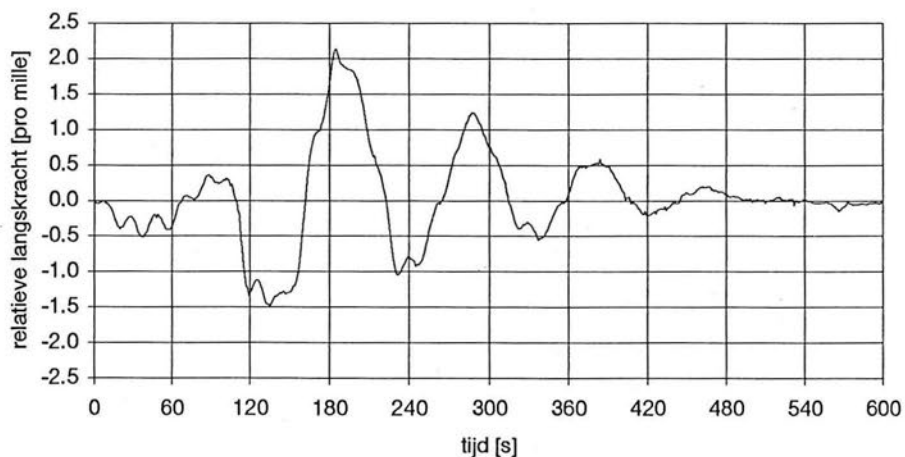
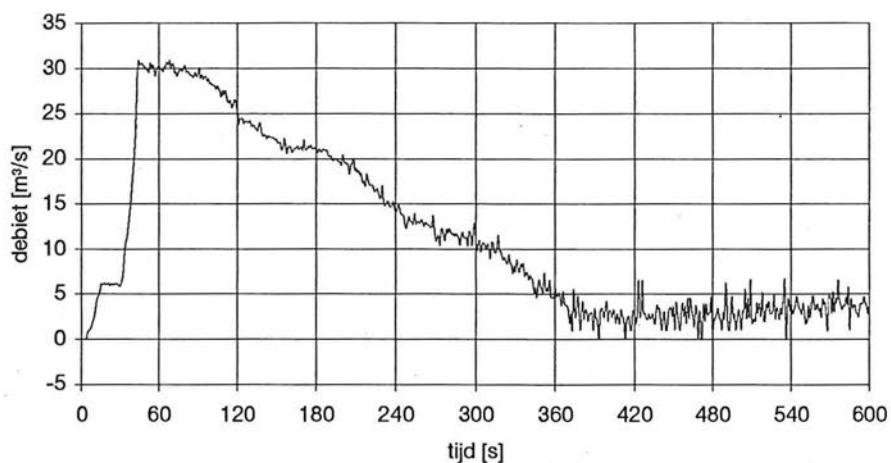
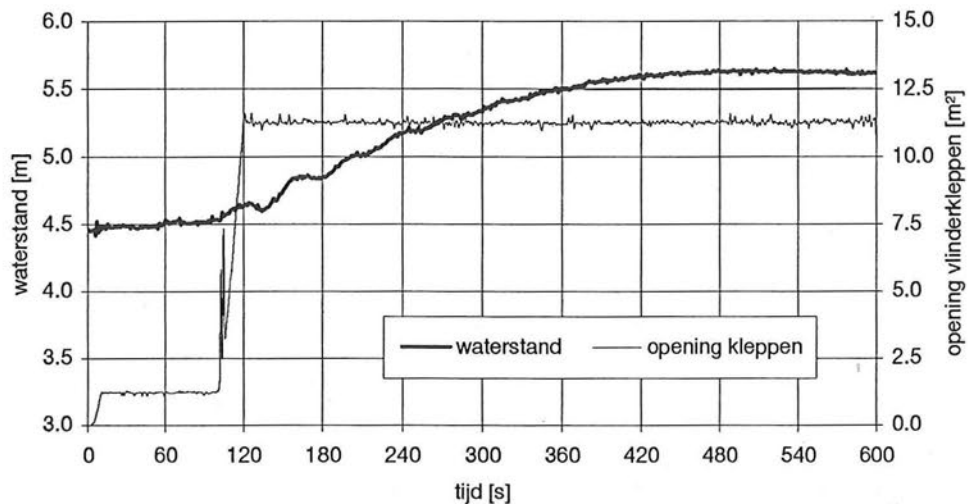


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B007



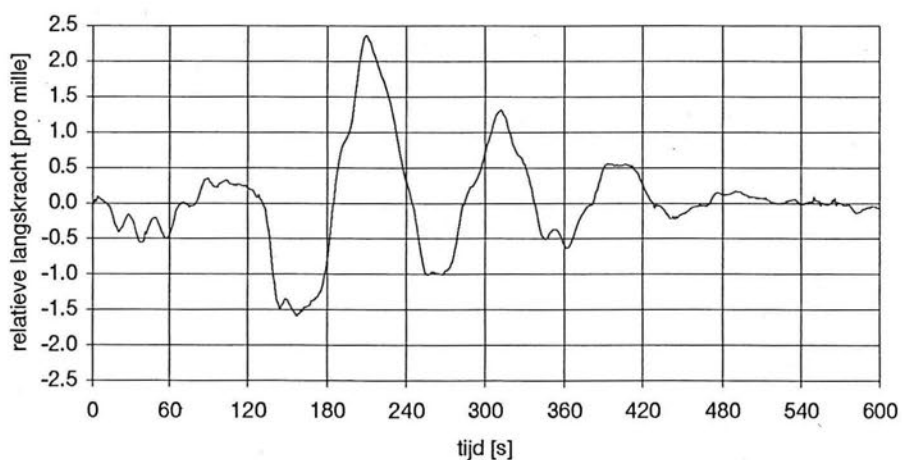
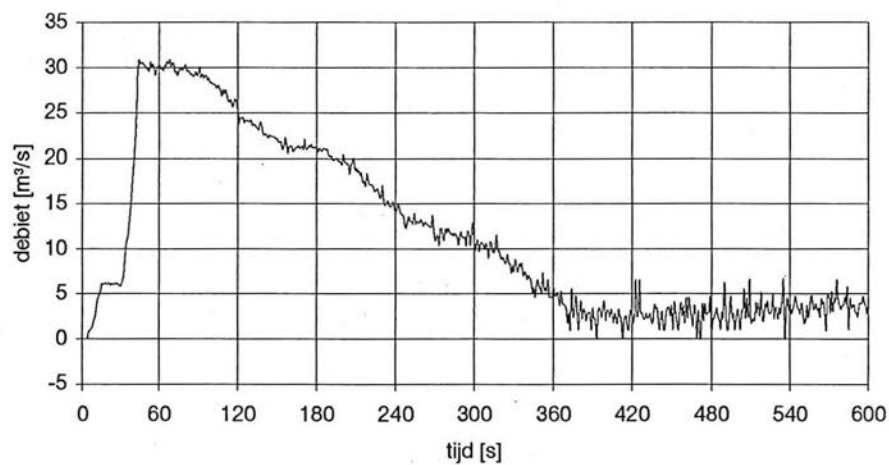
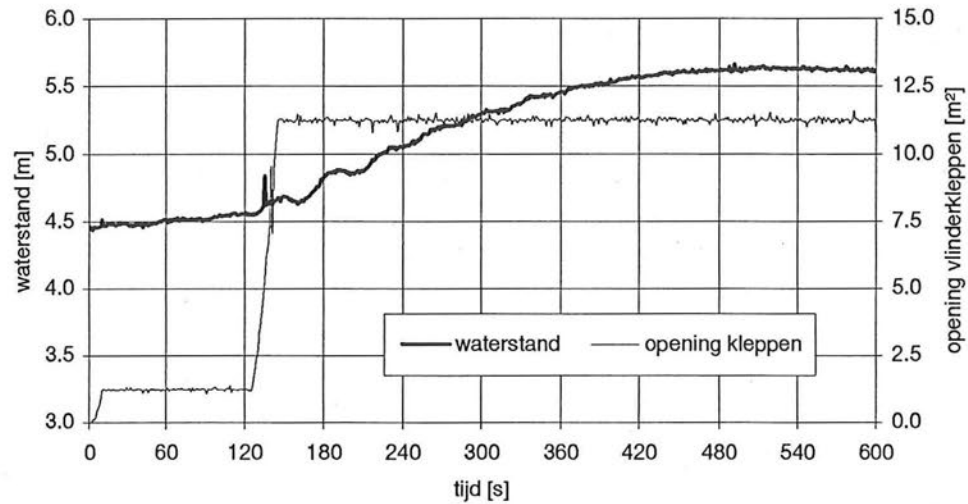


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B008



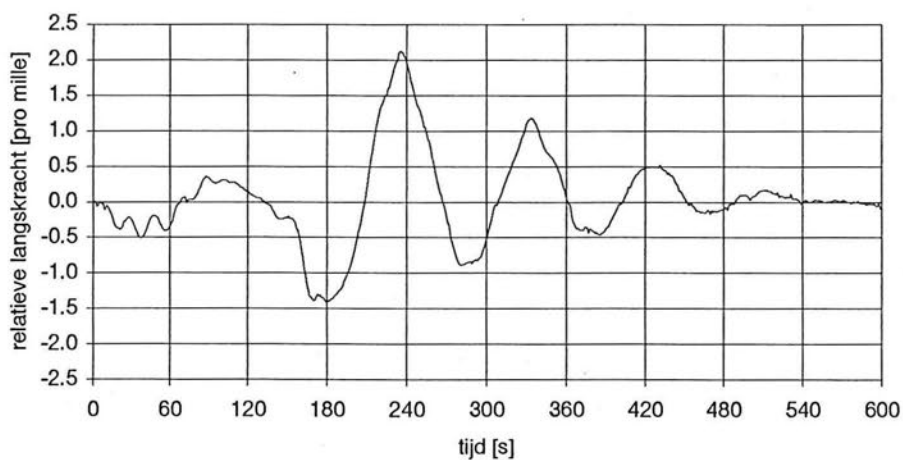
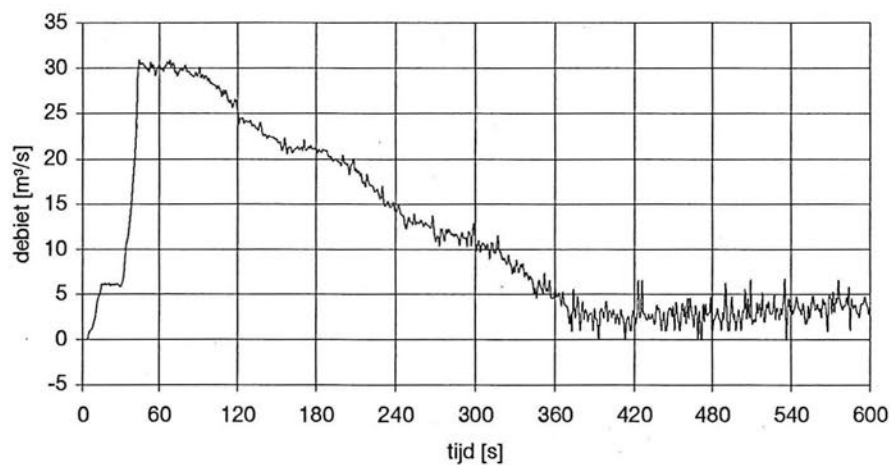
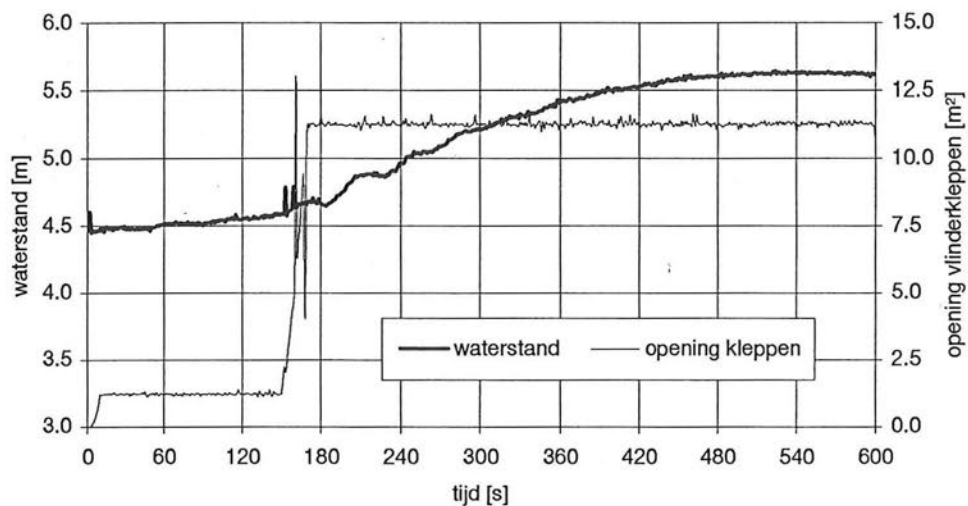


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B009

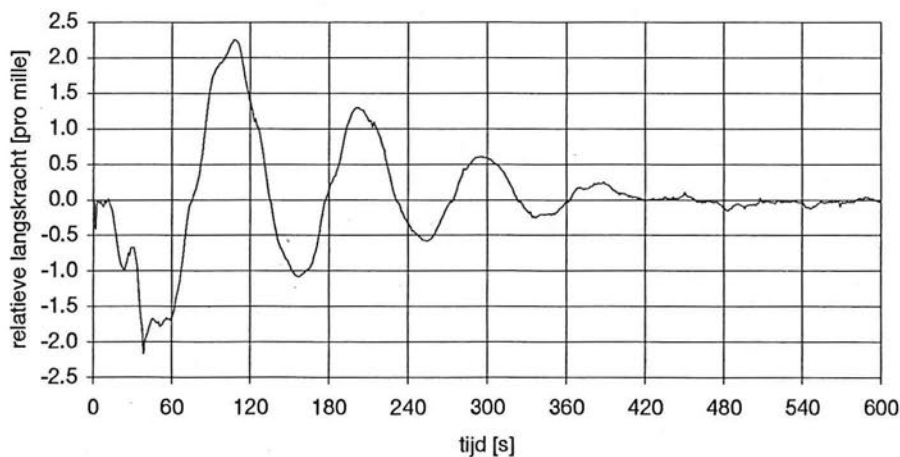
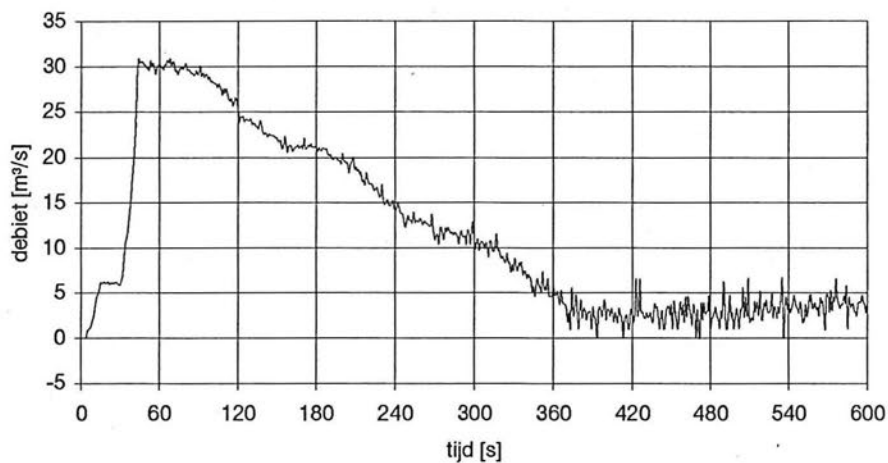
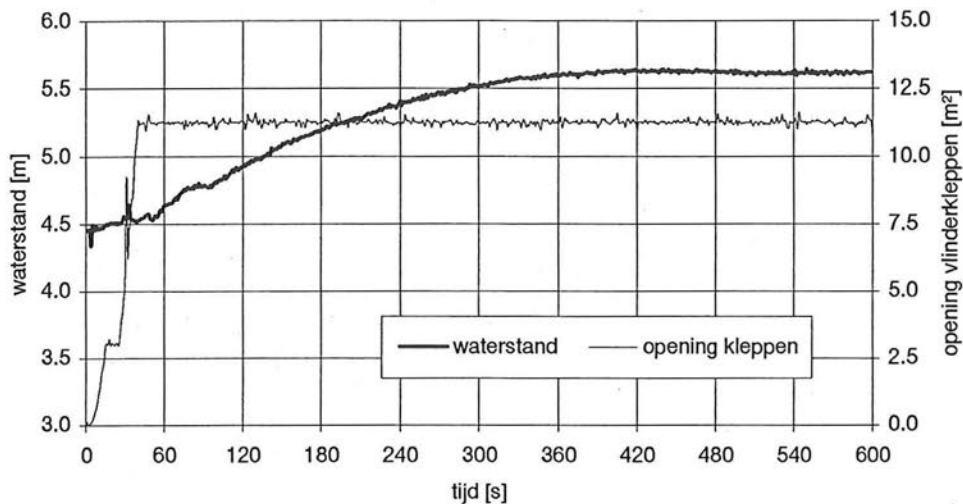




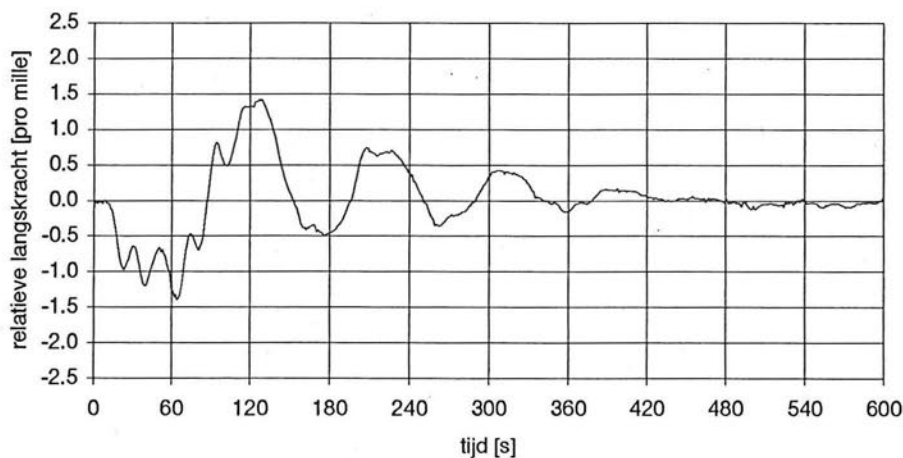
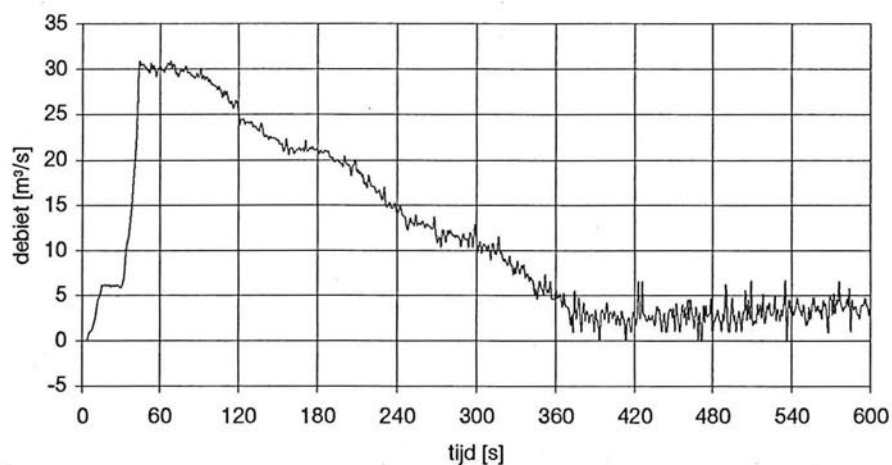
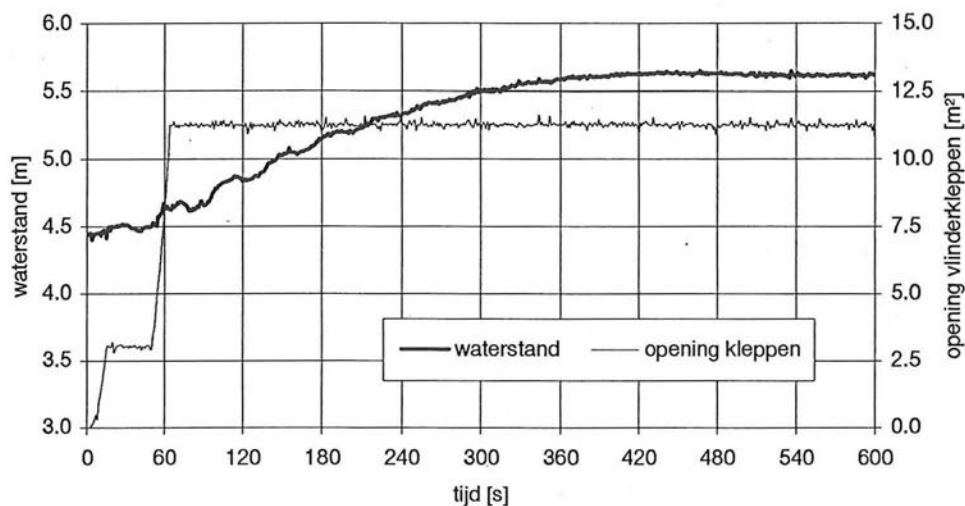
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B010



VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B011

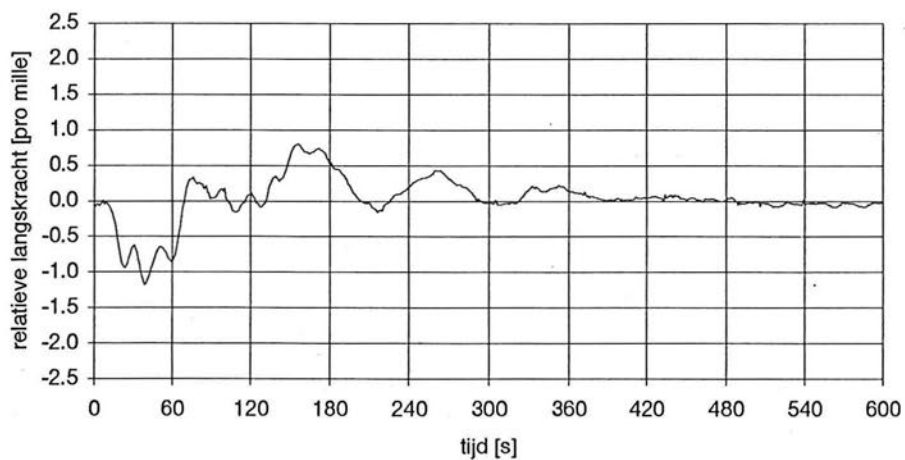
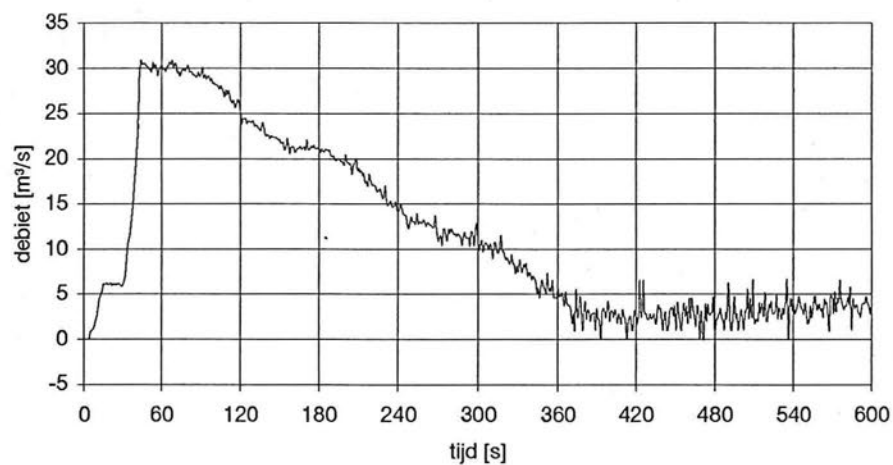
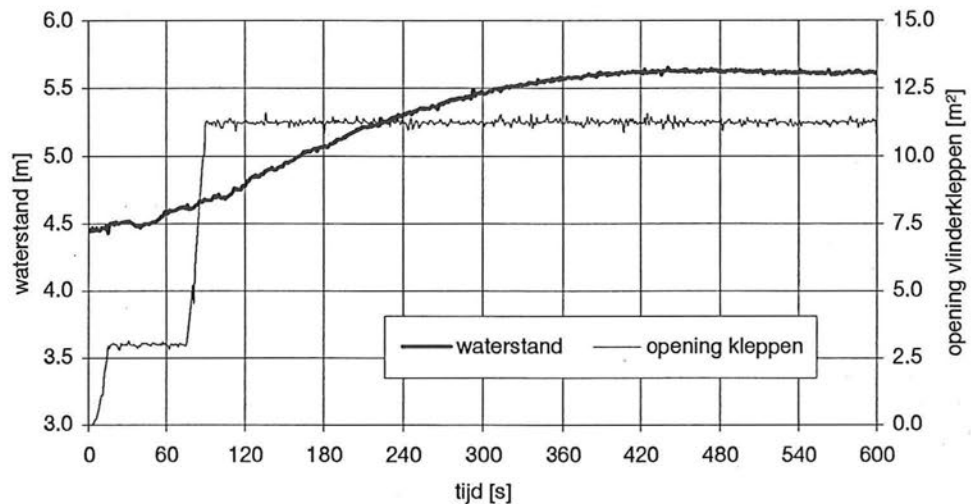


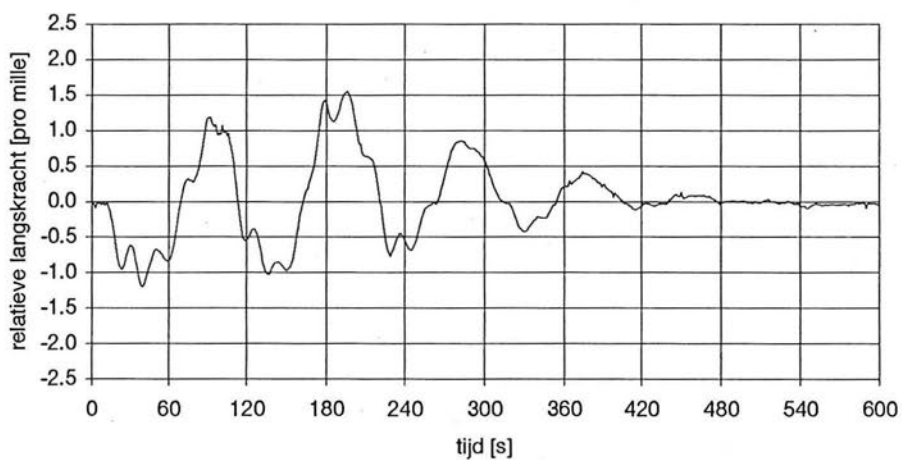
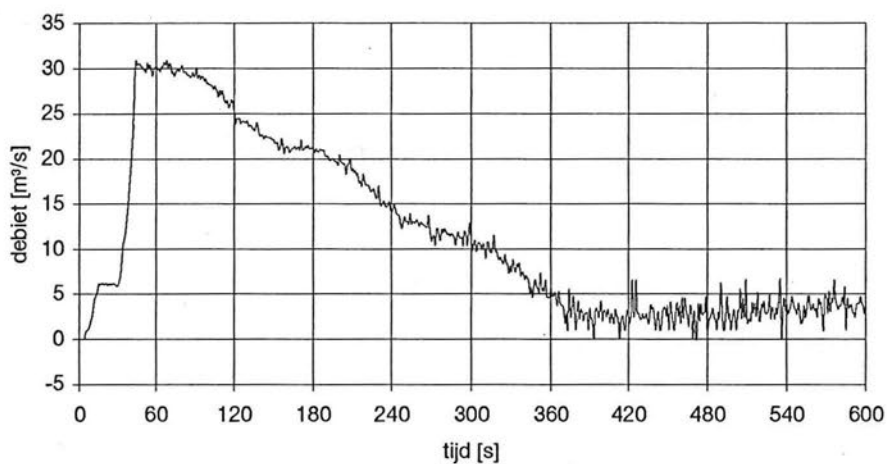
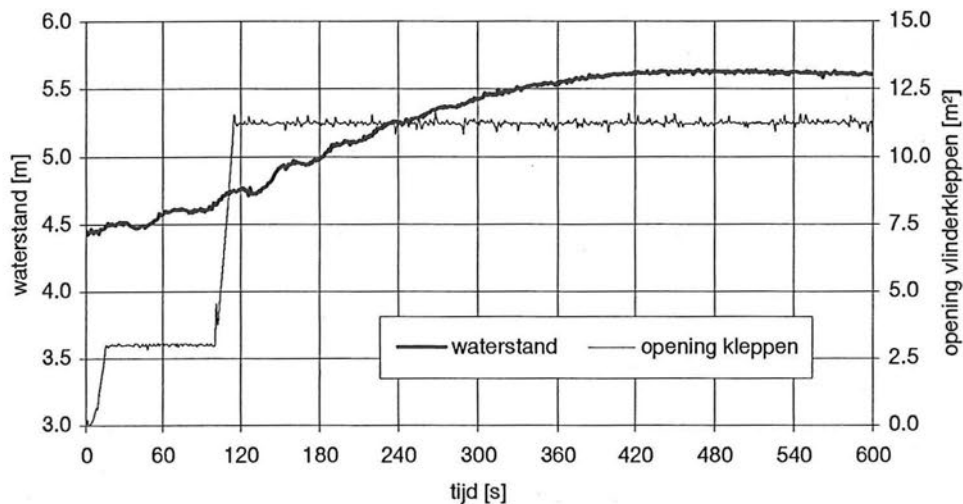
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B012

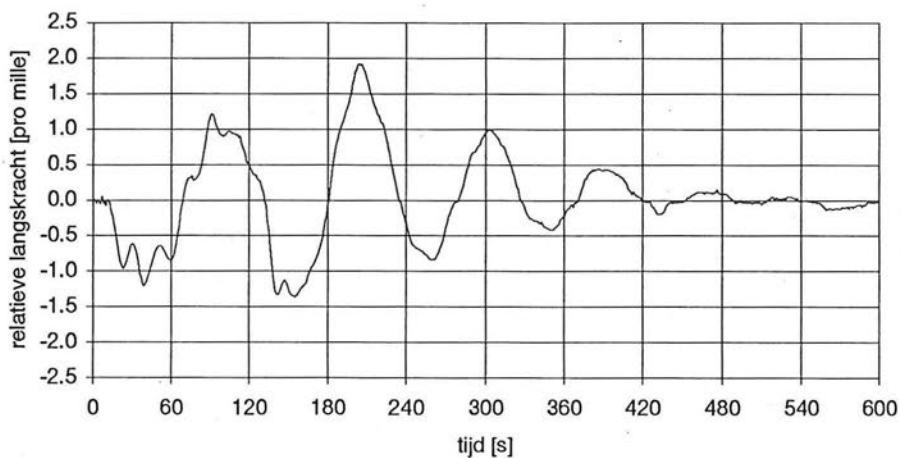
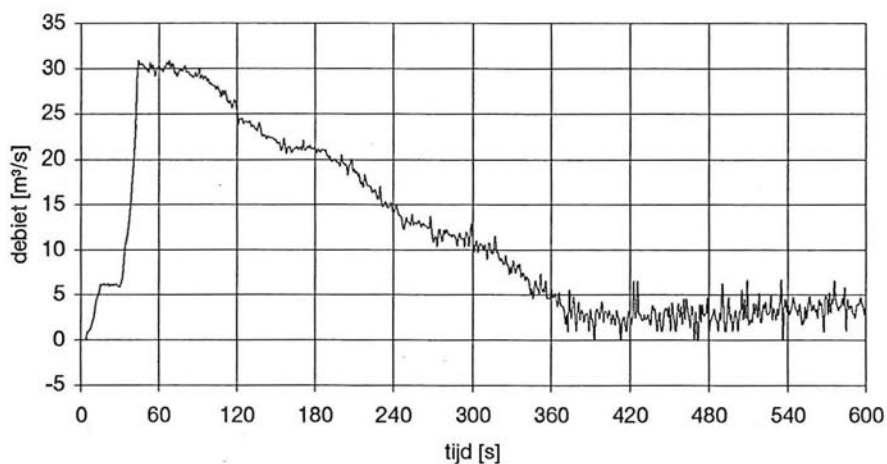
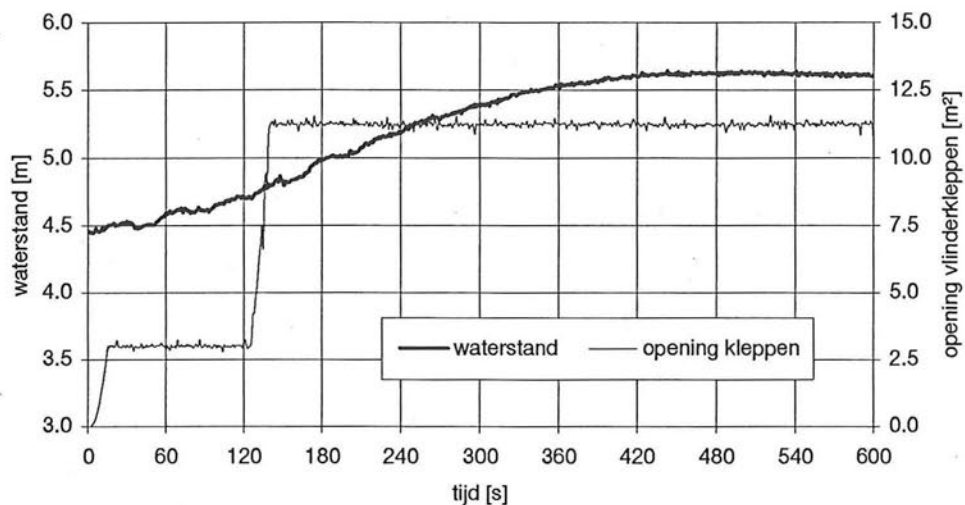




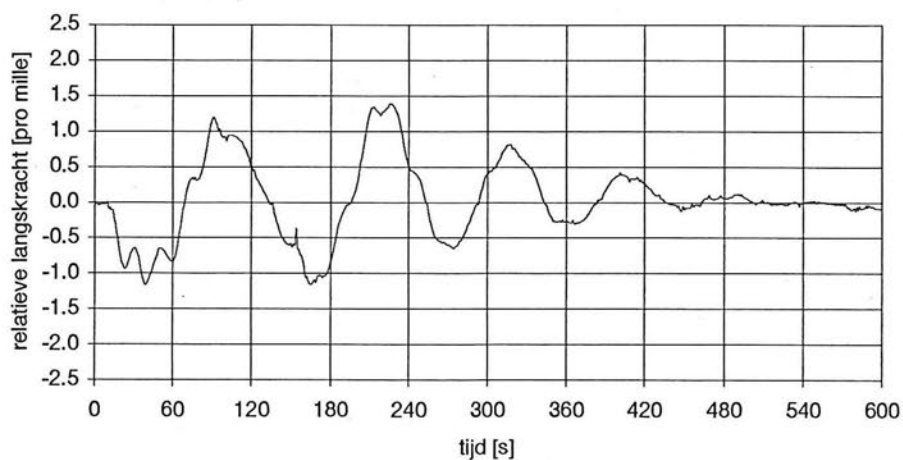
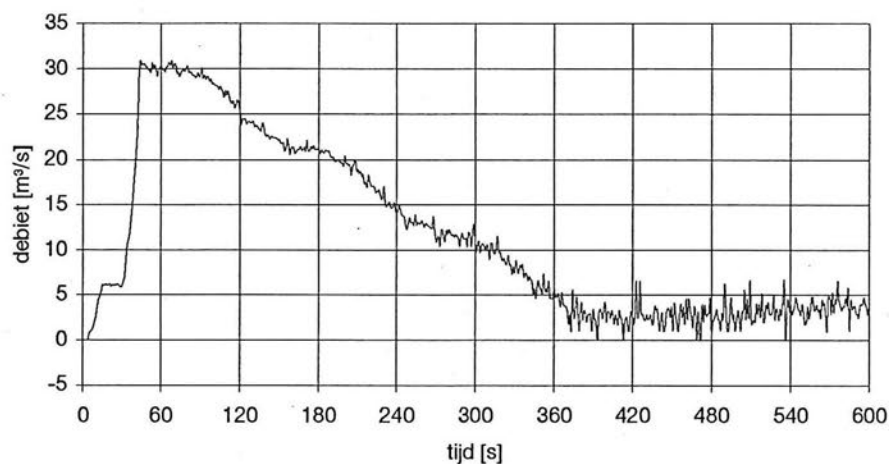
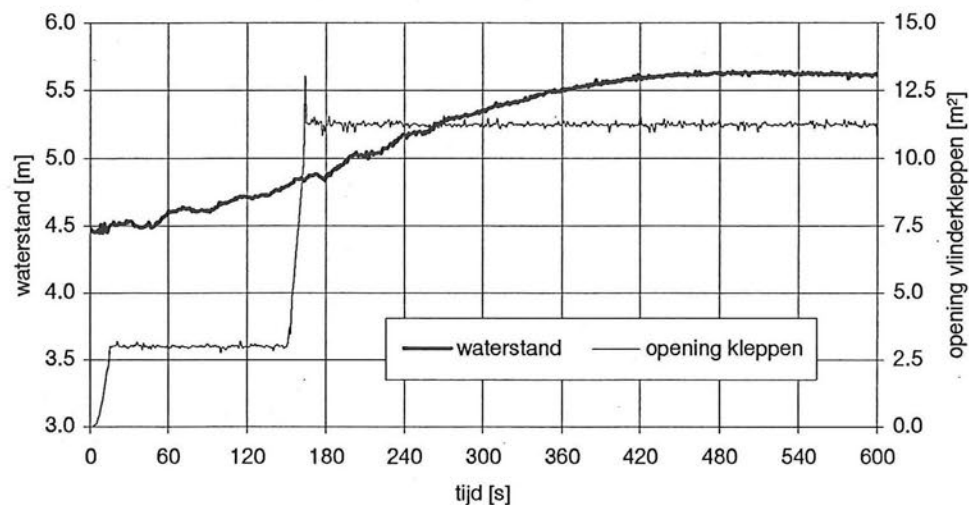
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B013



VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B014


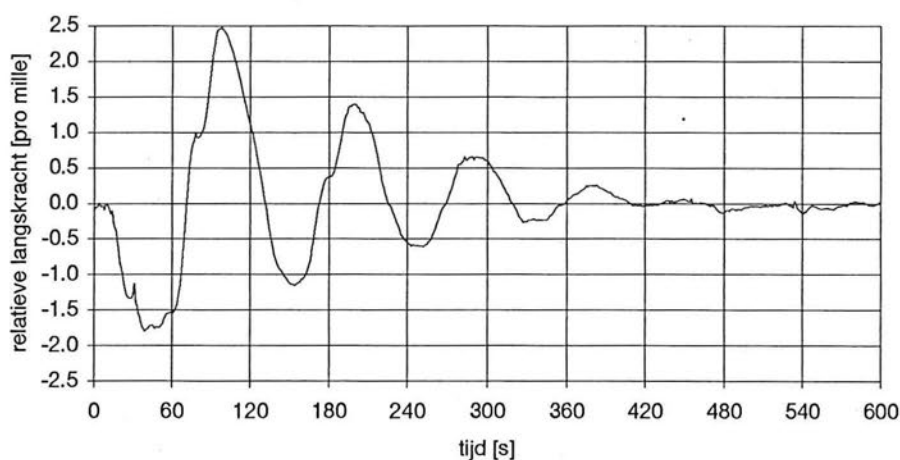
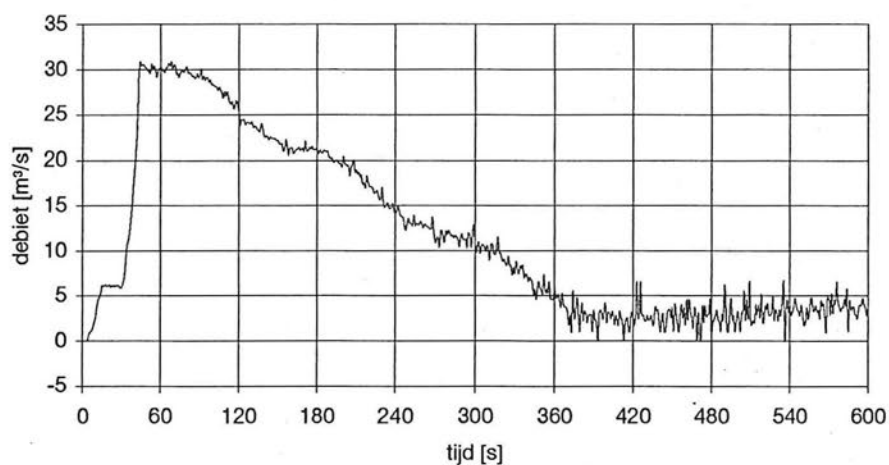
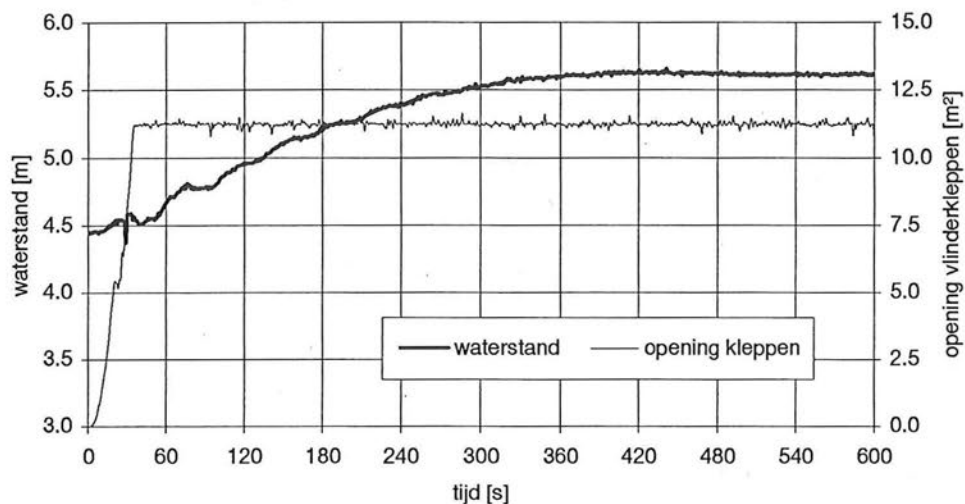
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B015


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B016

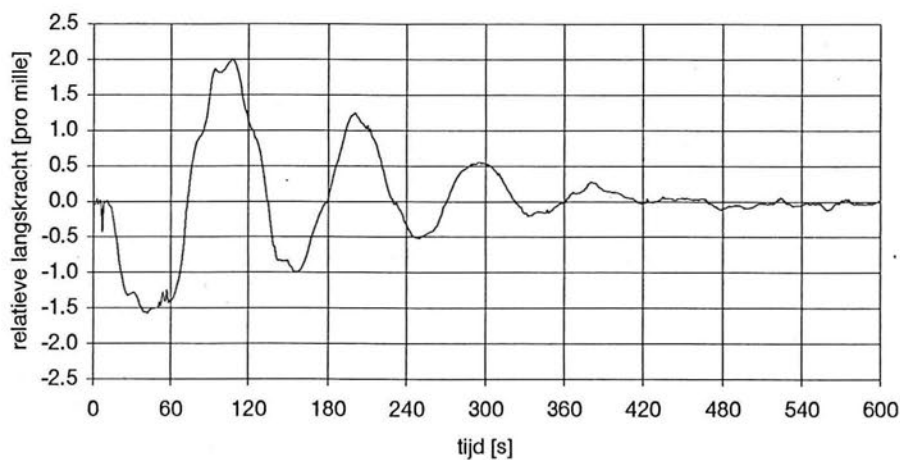
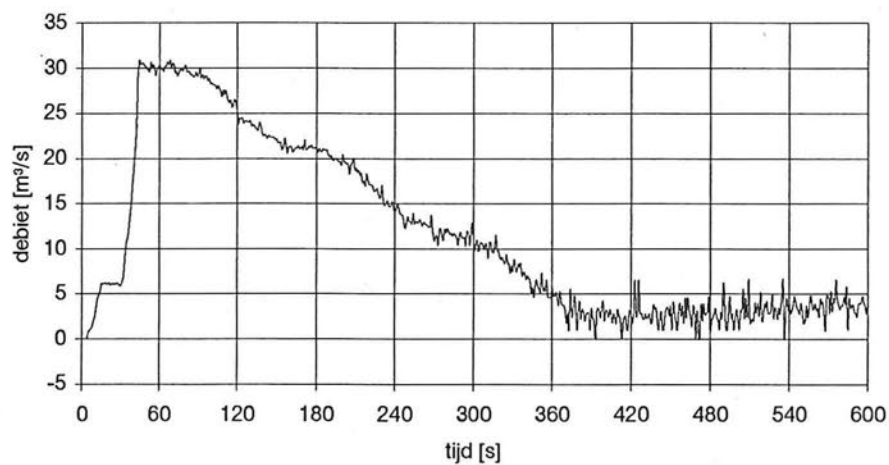
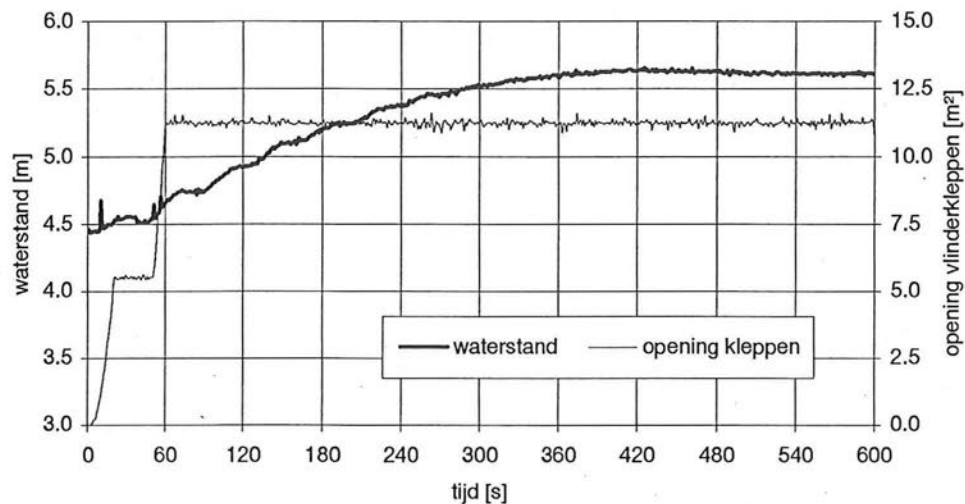




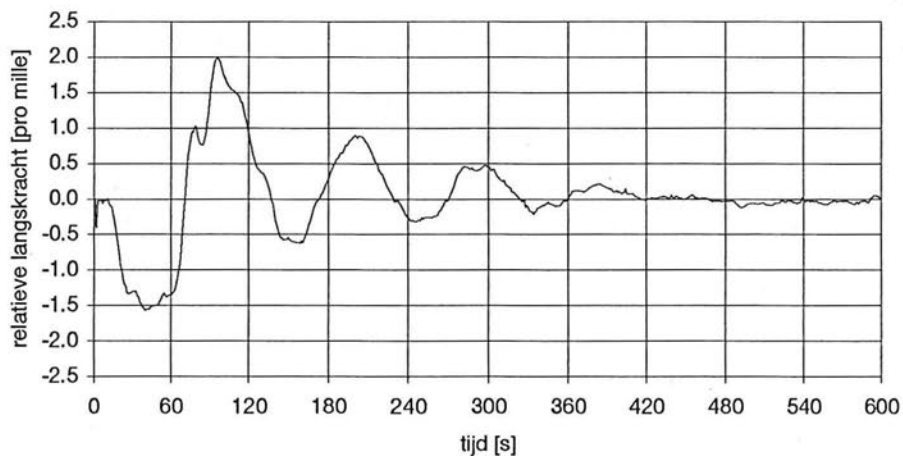
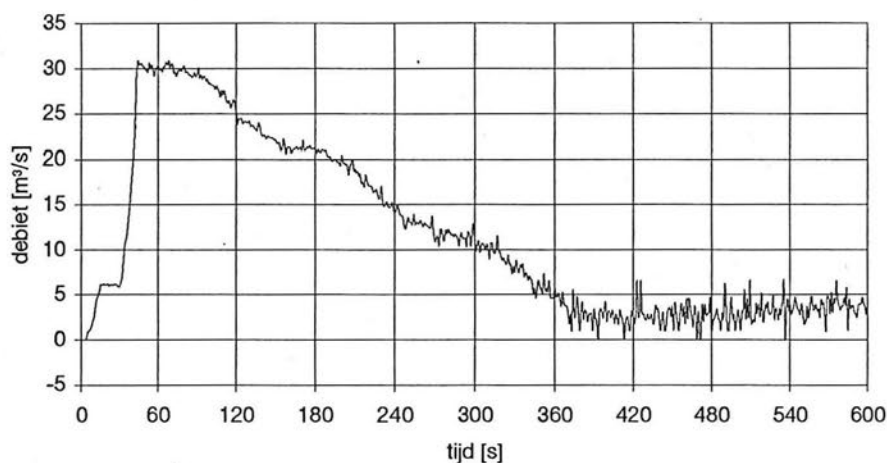
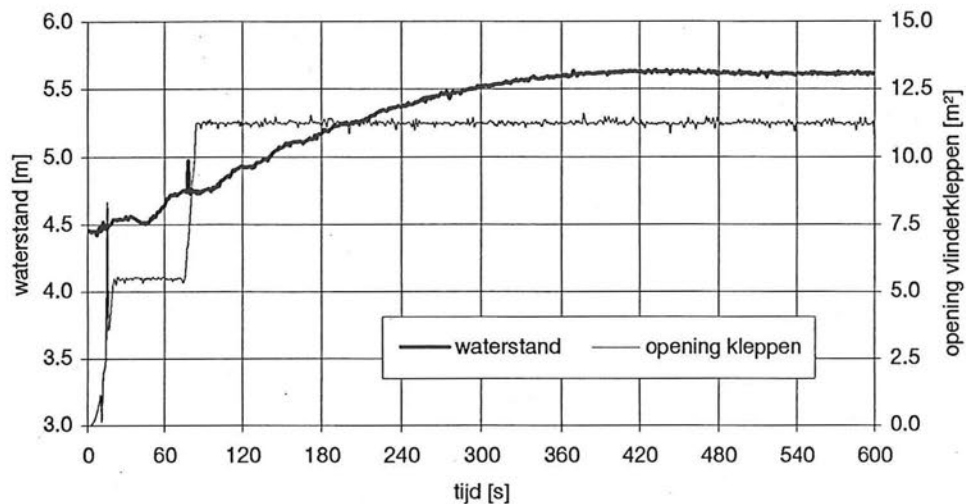
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B017



VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B018

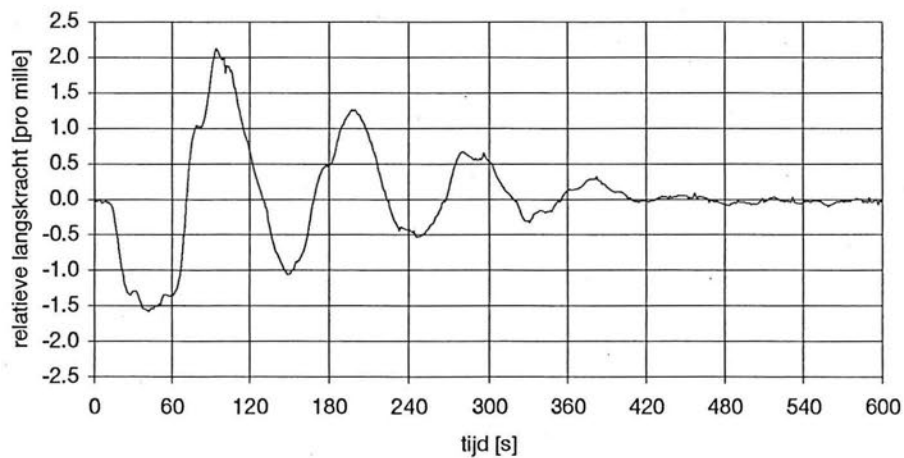
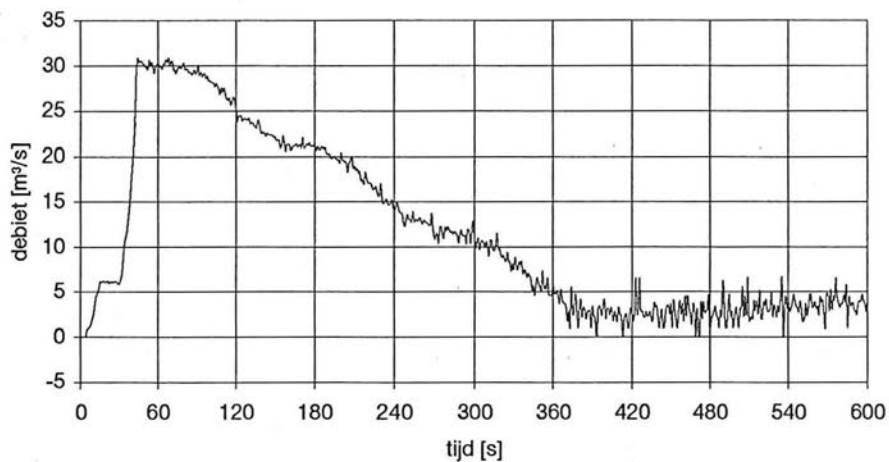
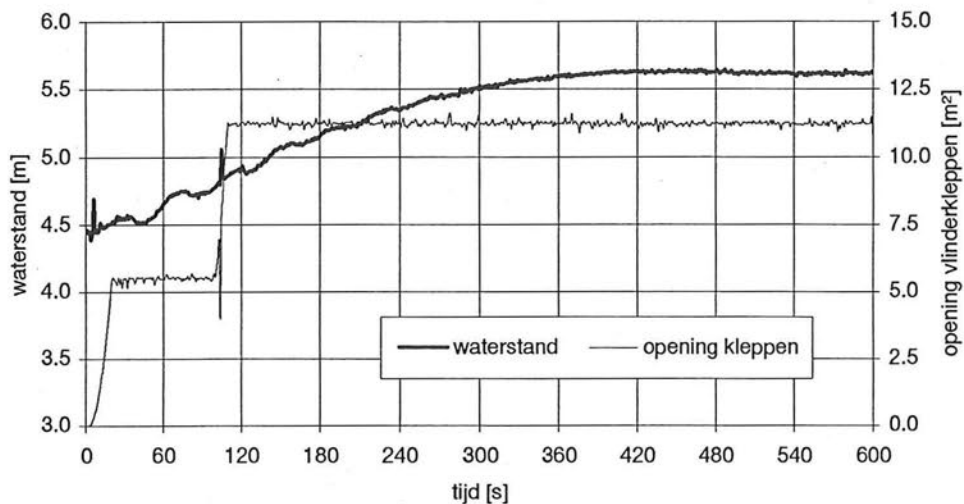


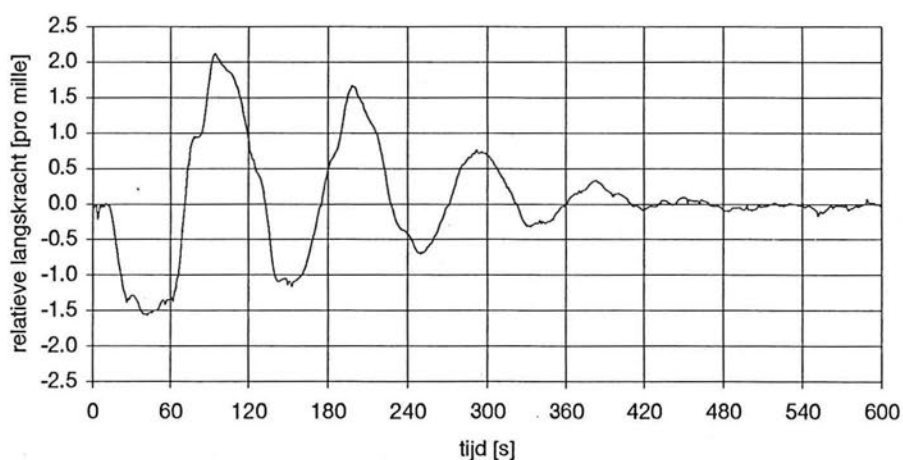
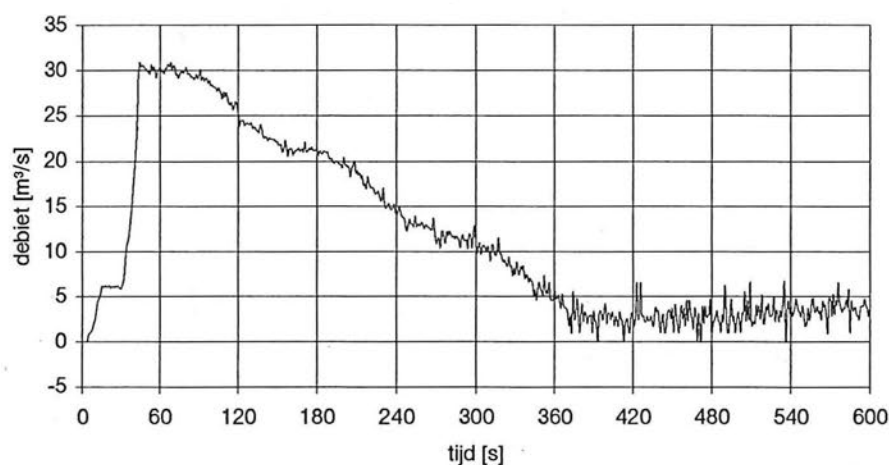
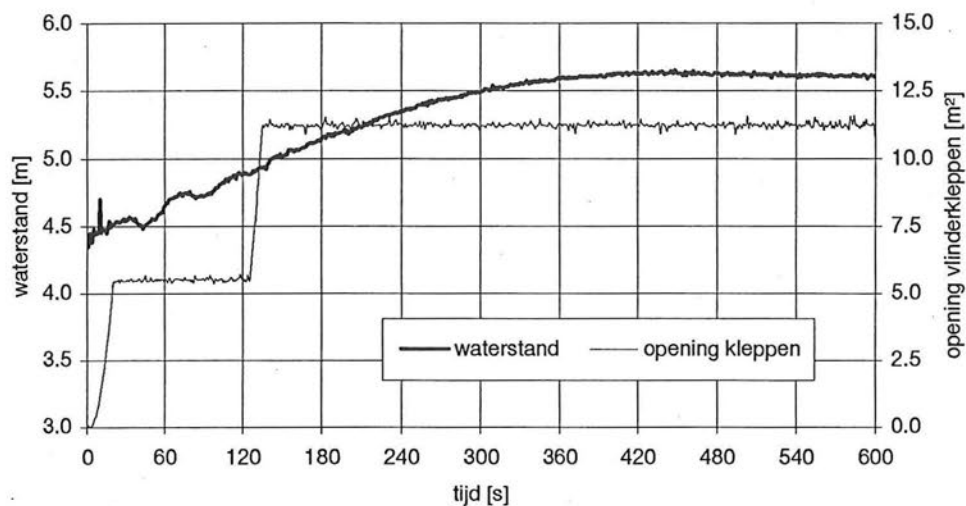
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B019

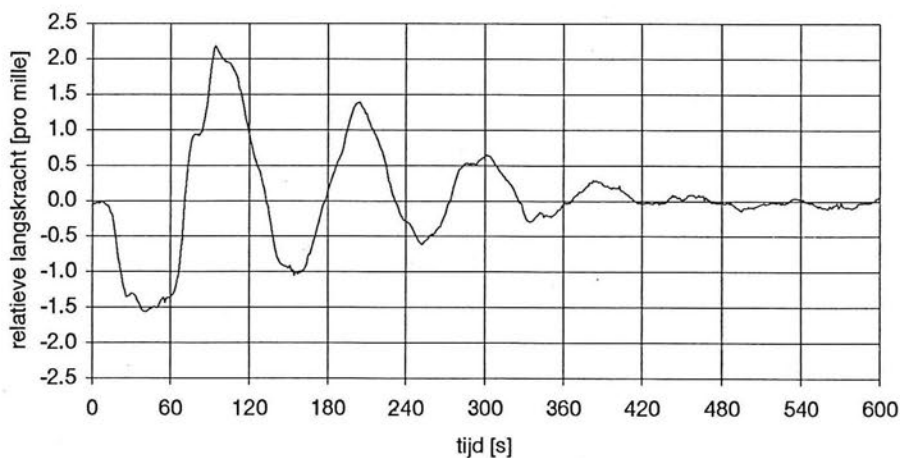
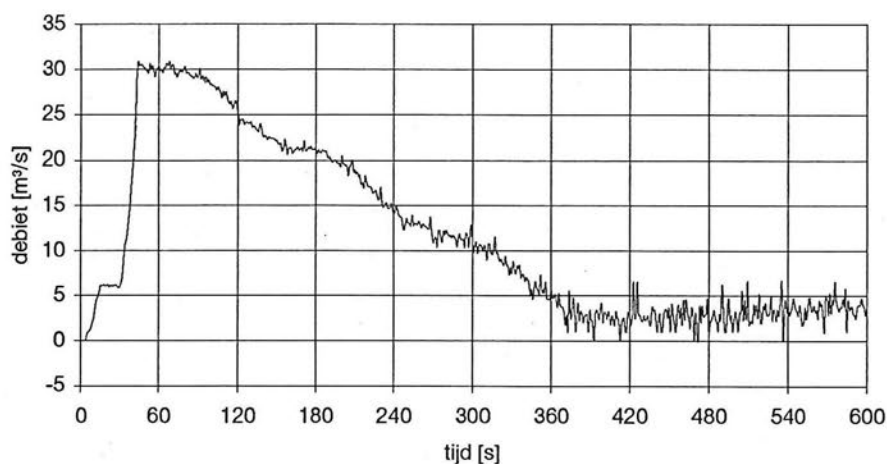
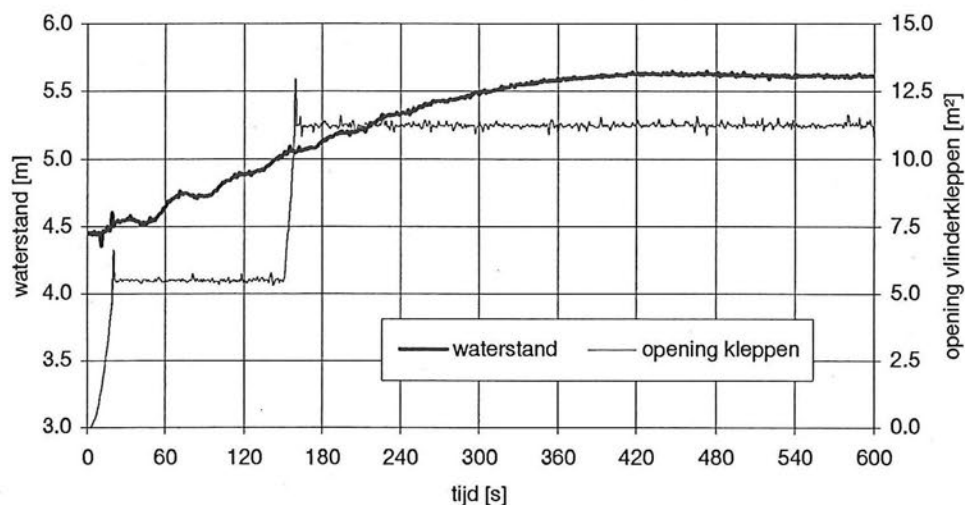




VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B020

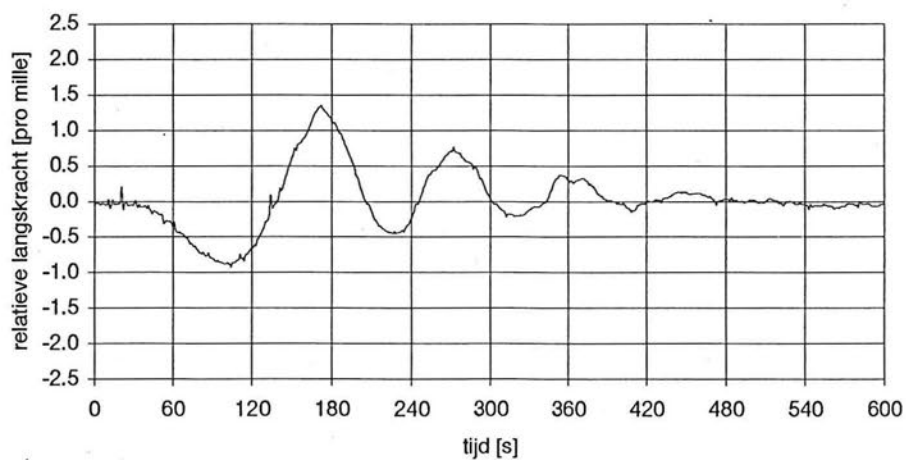
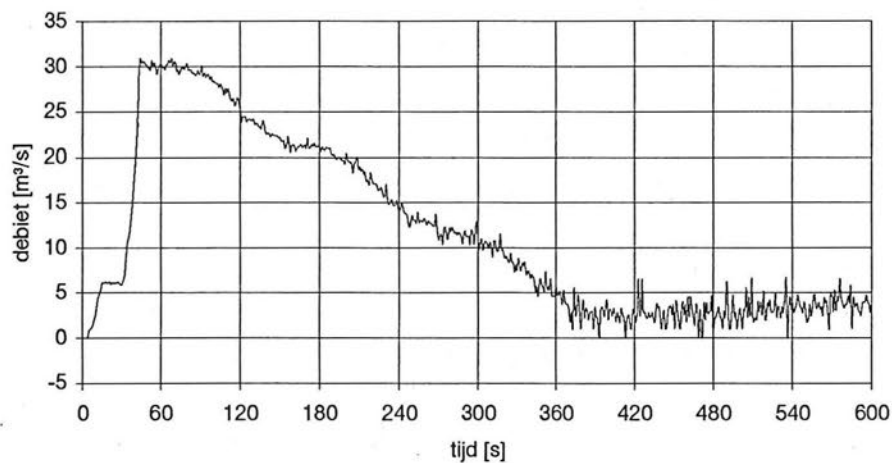
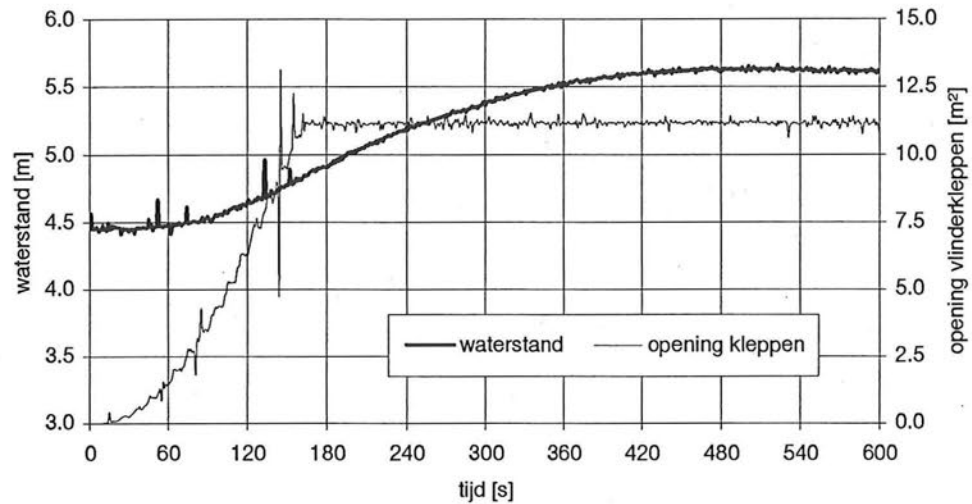


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B021


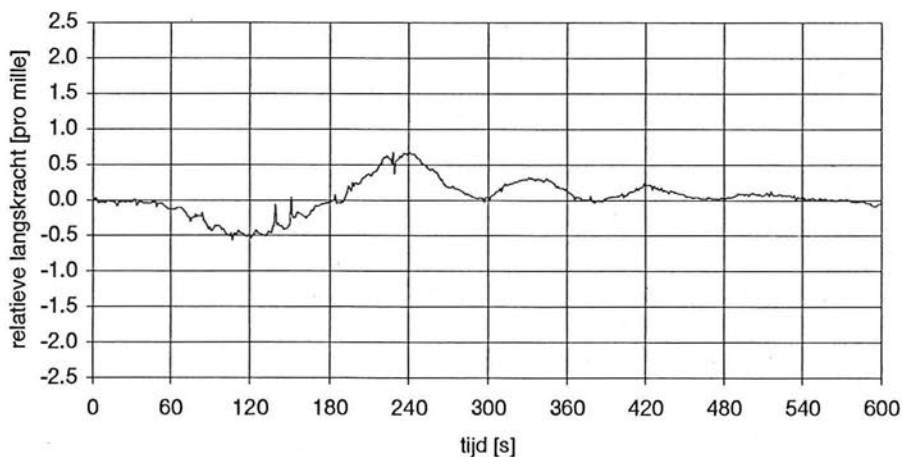
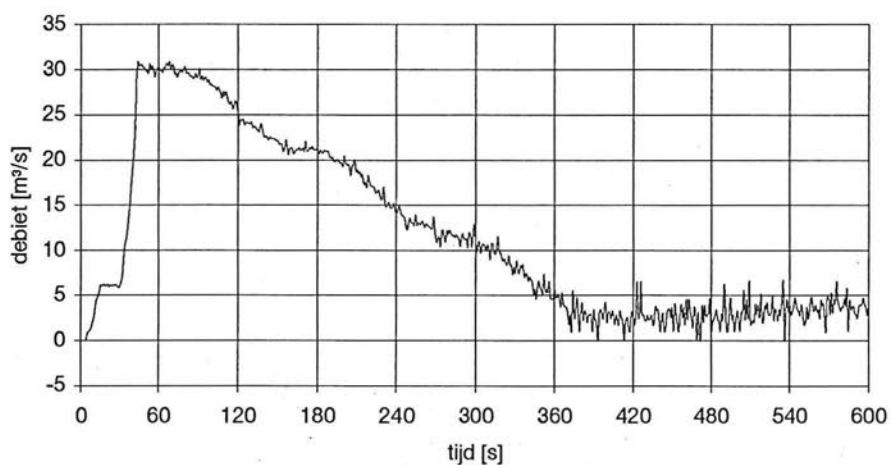
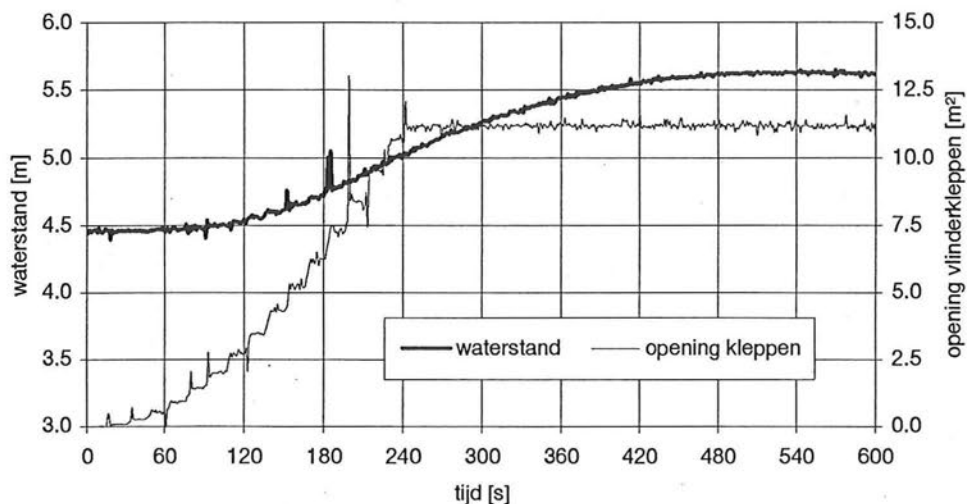
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B022


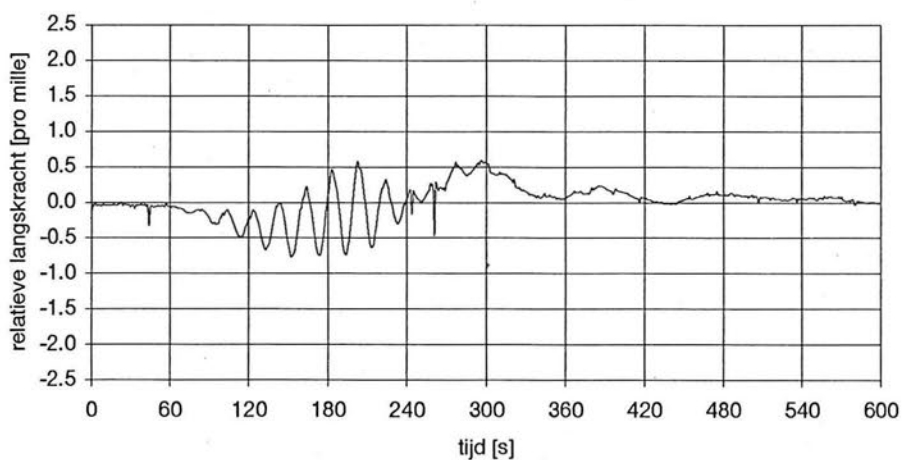
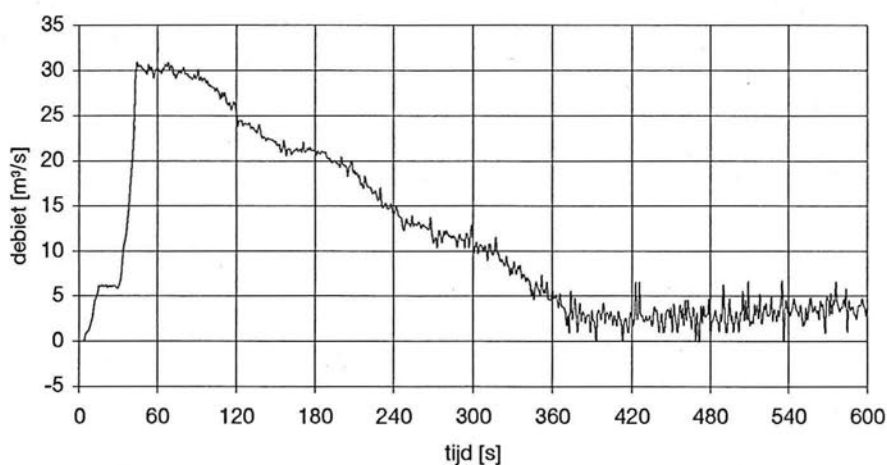
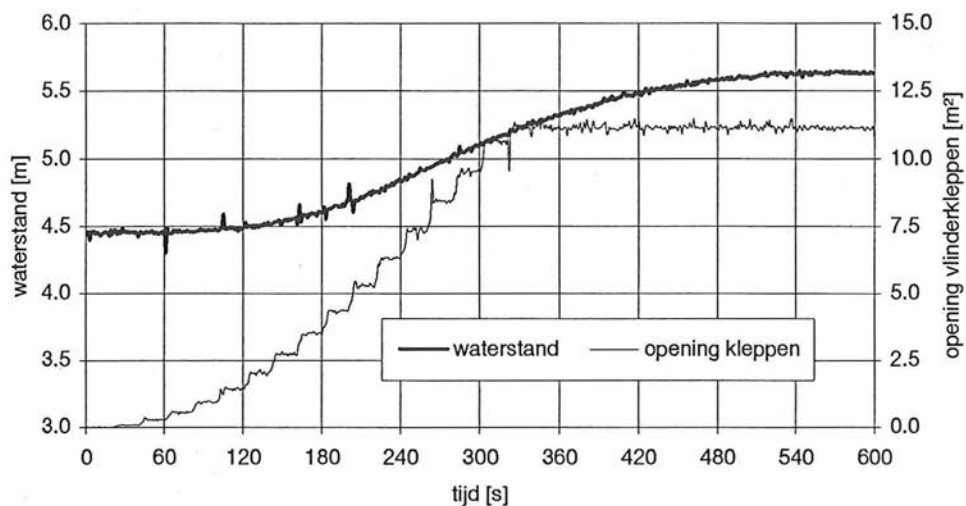


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B023

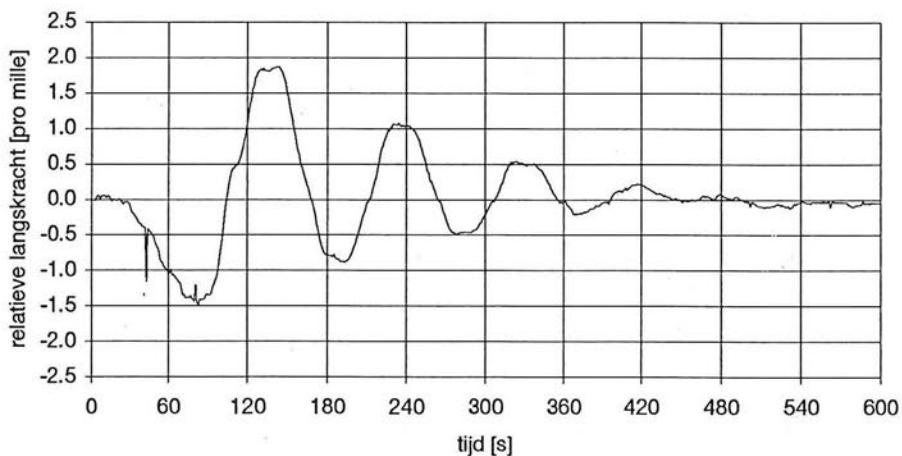
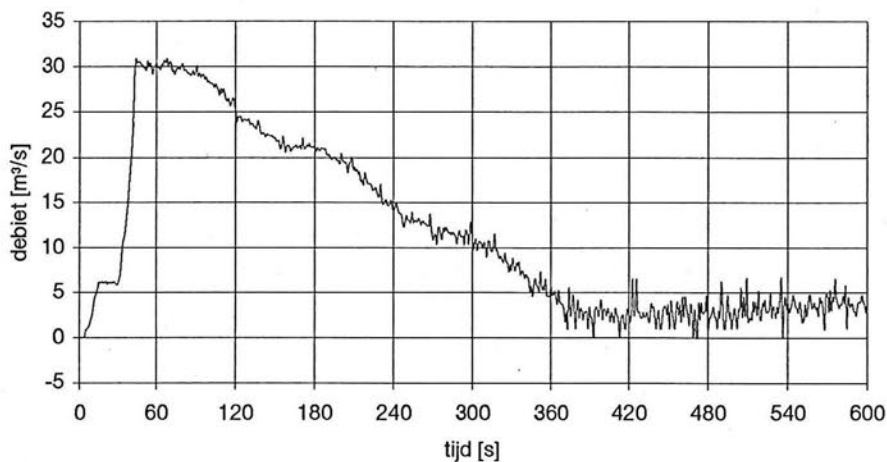
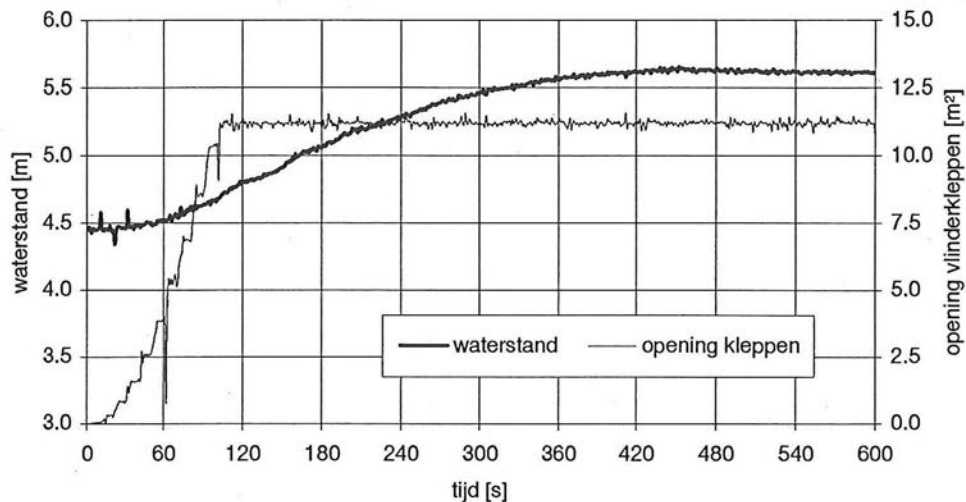


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B024



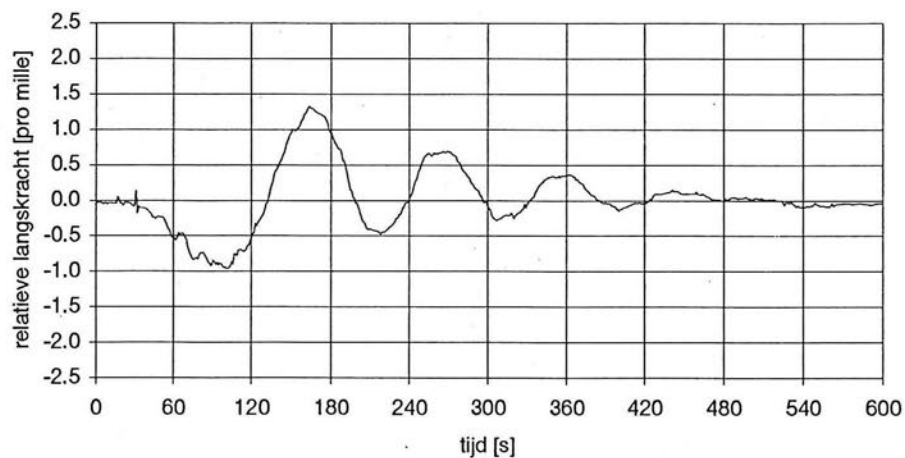
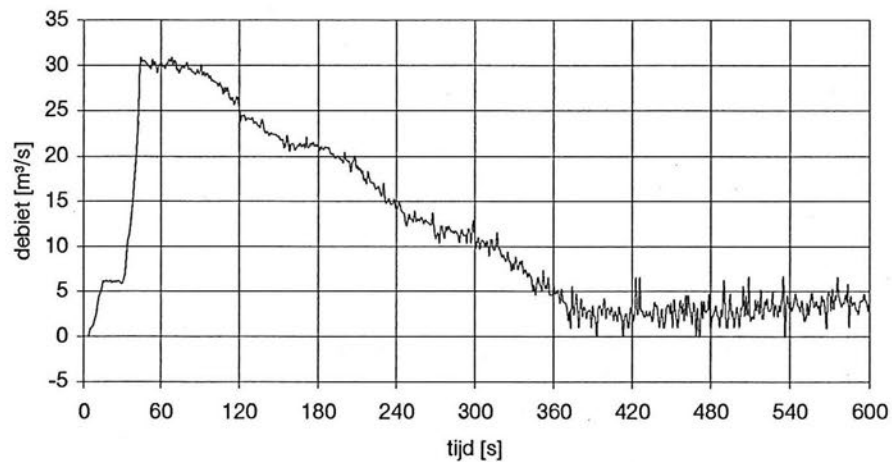
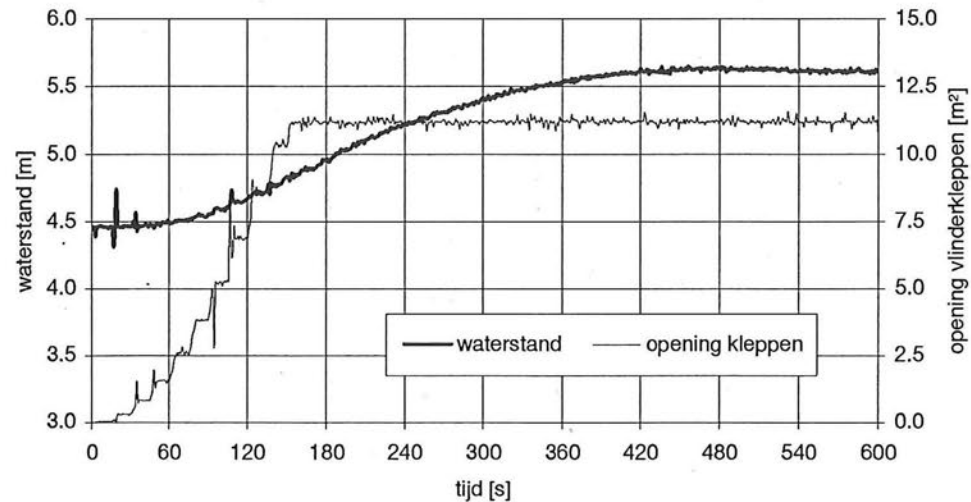
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B025


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B026

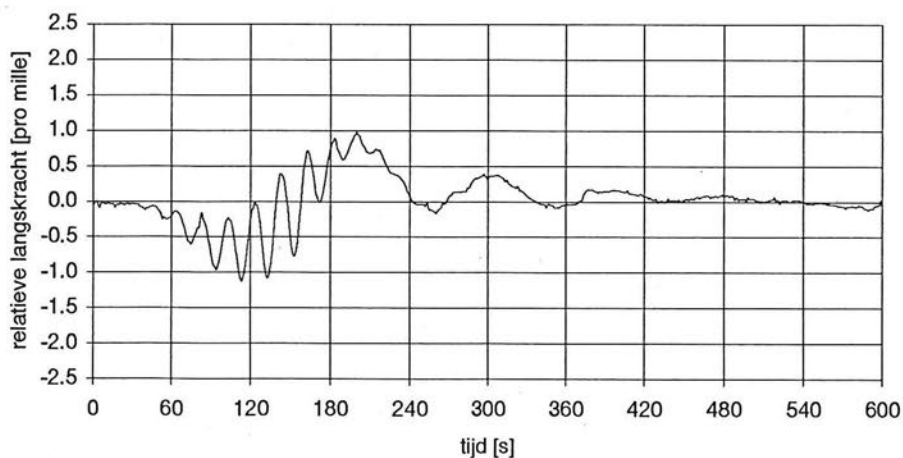
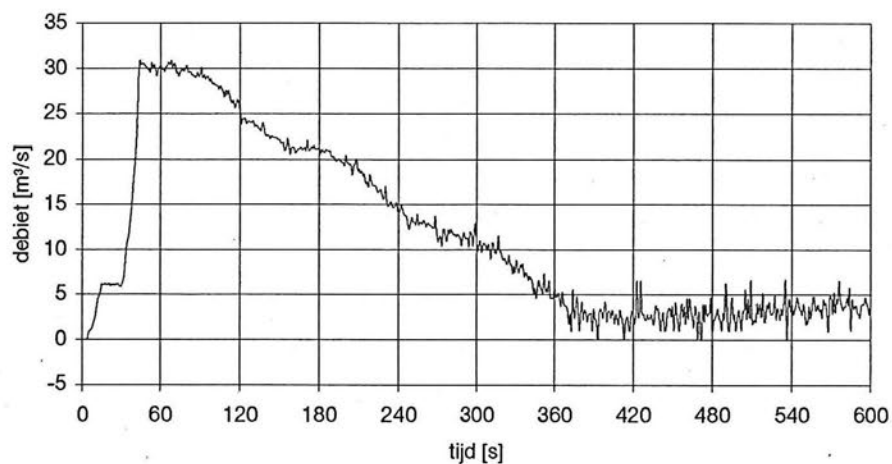
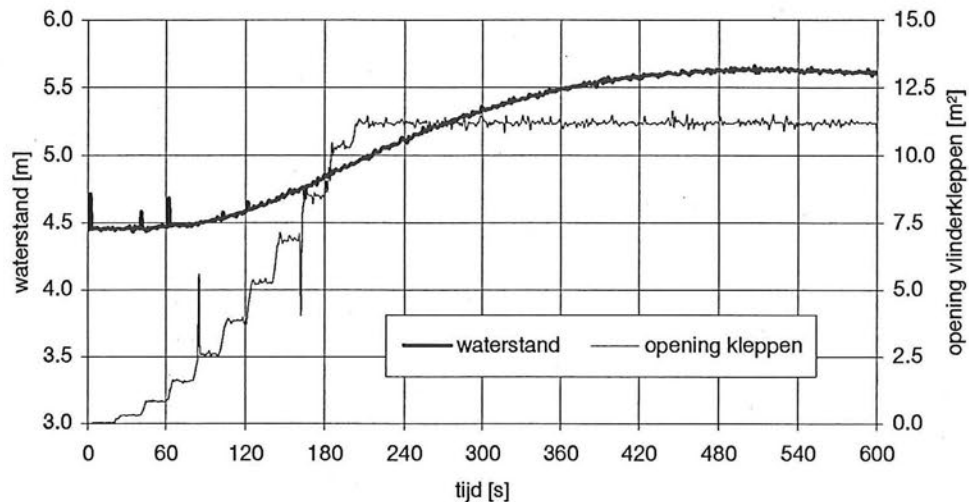




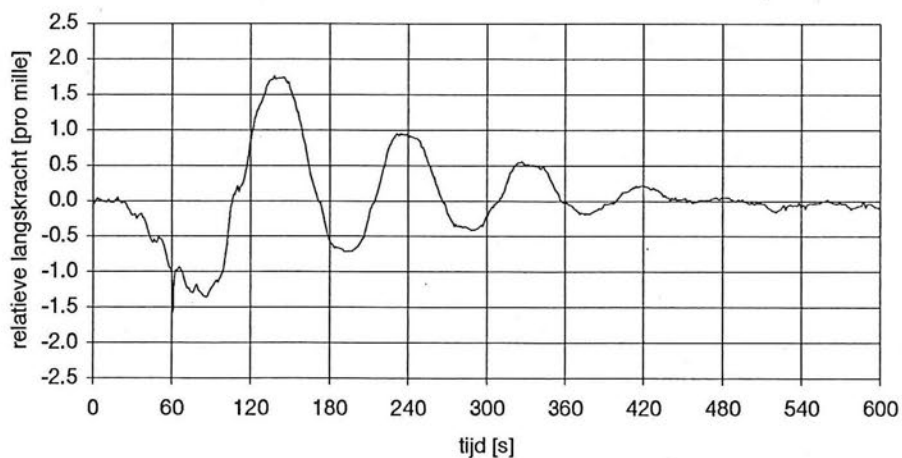
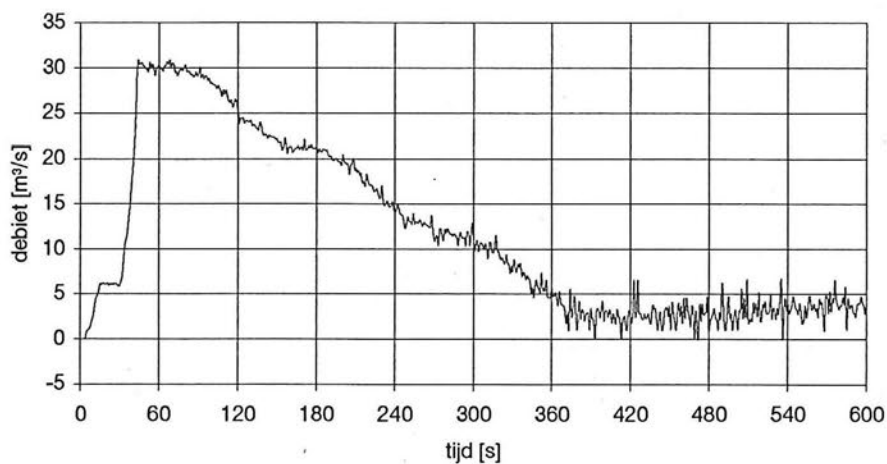
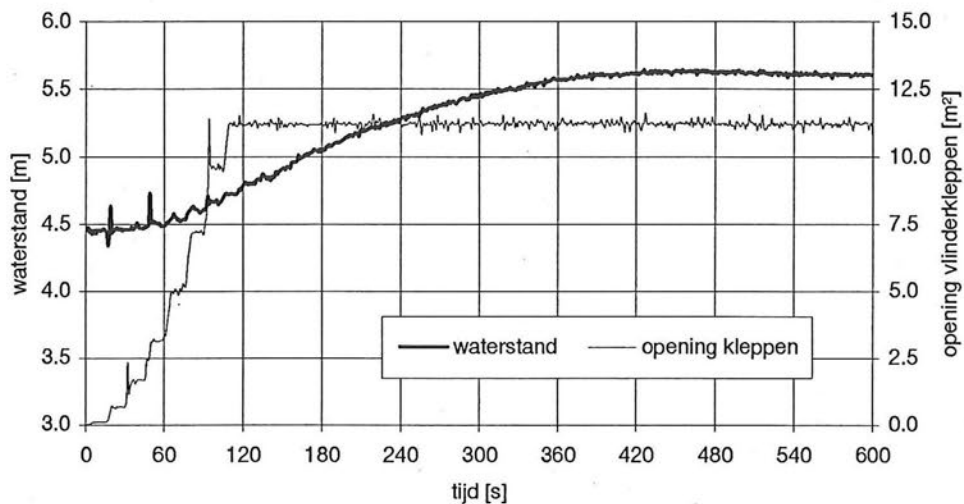
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B027

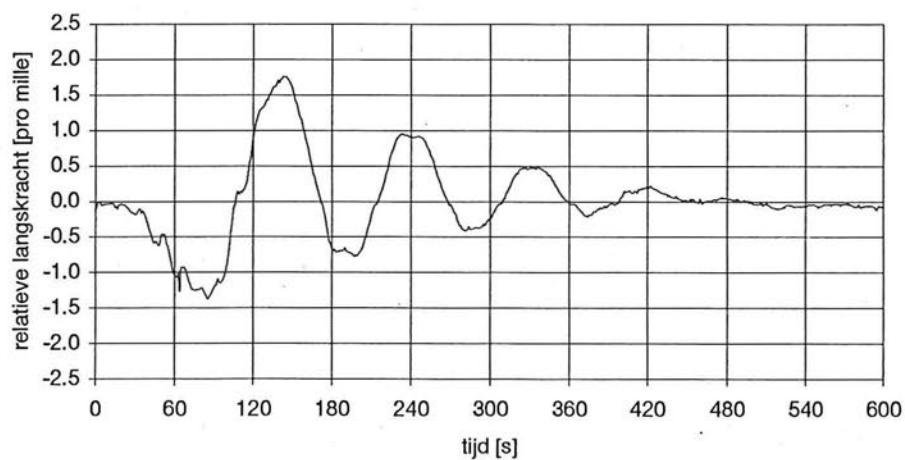
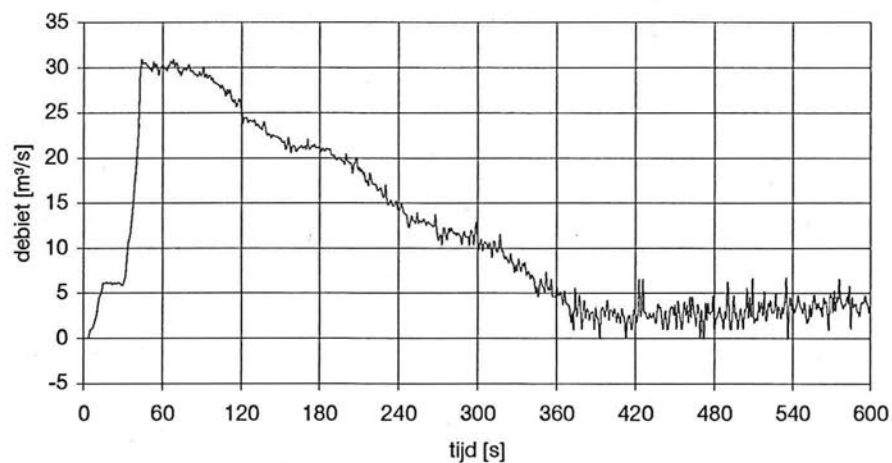
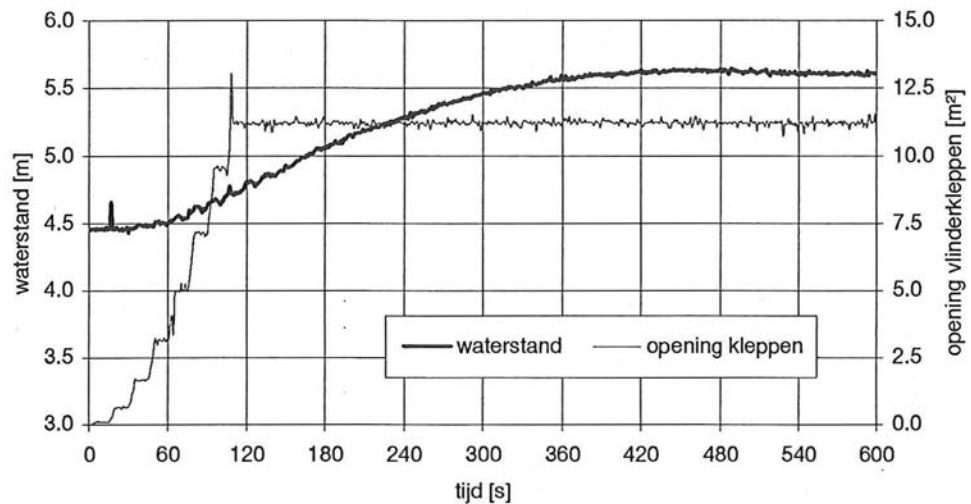


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B028

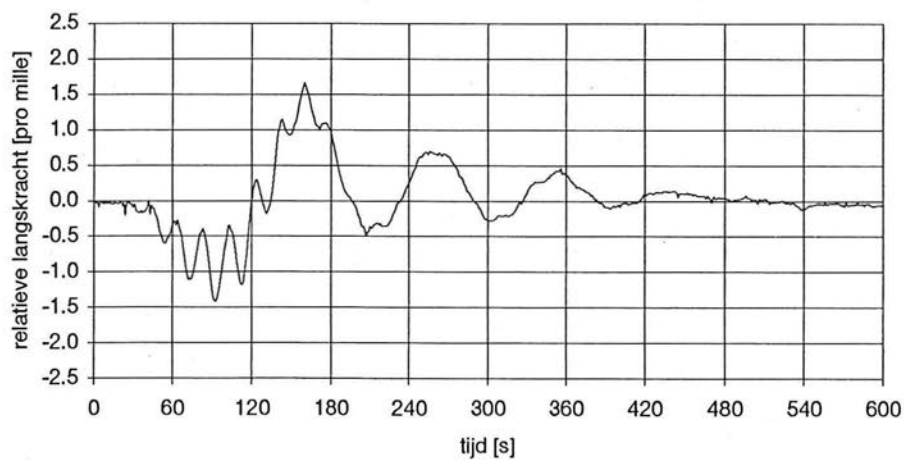
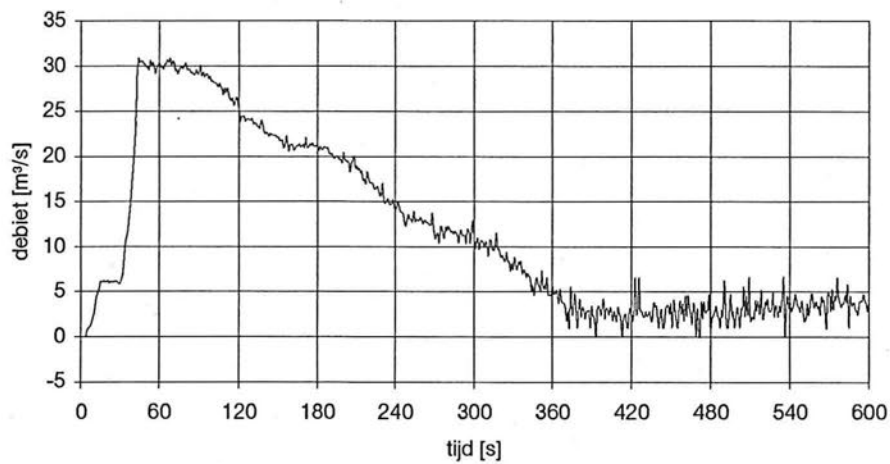
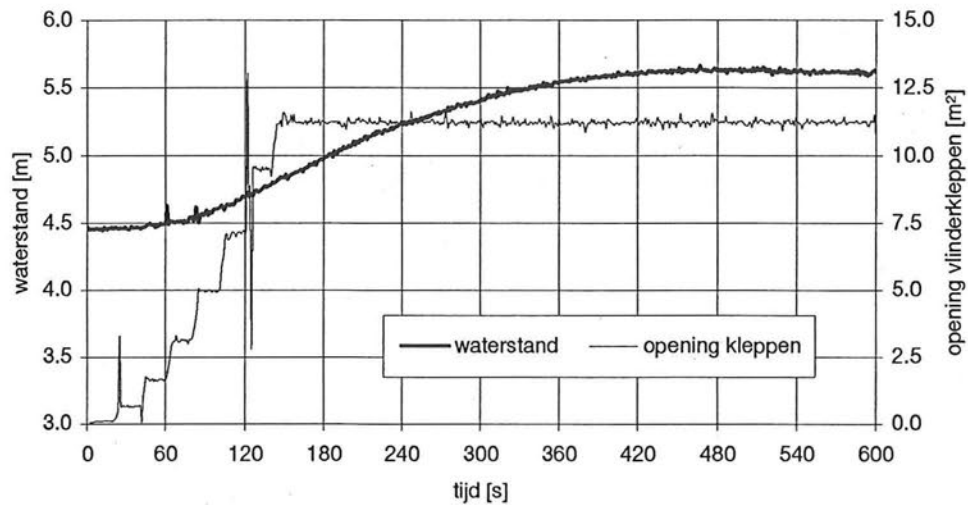


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B029

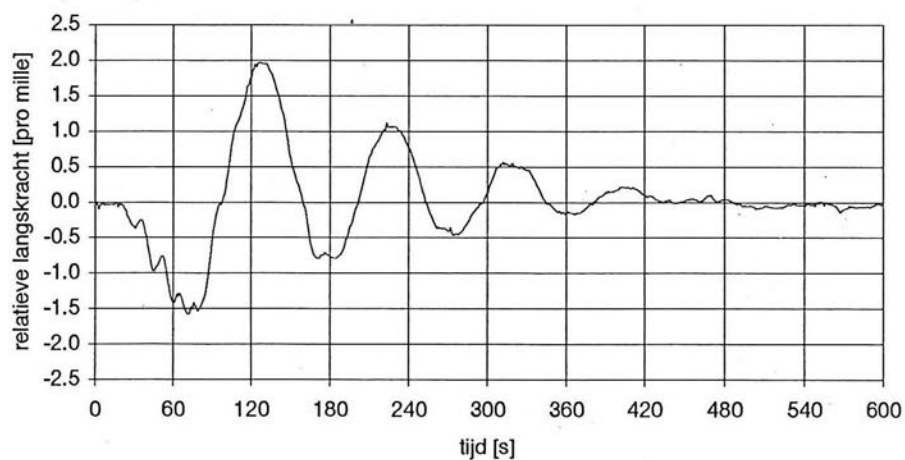
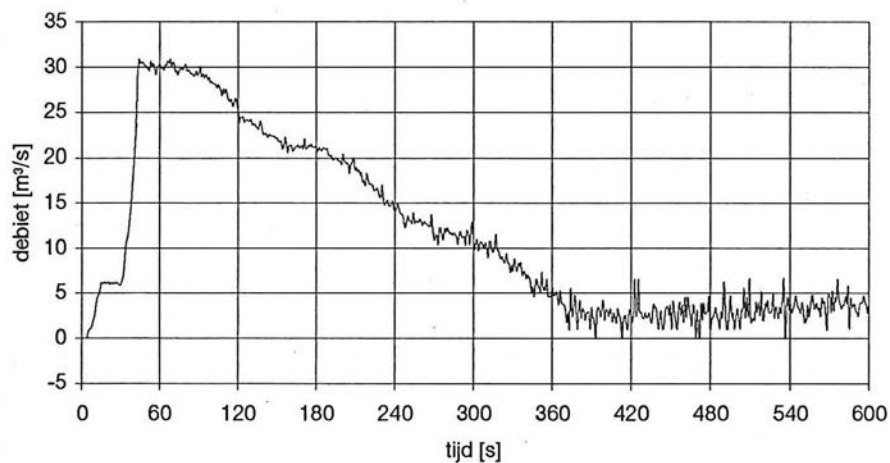
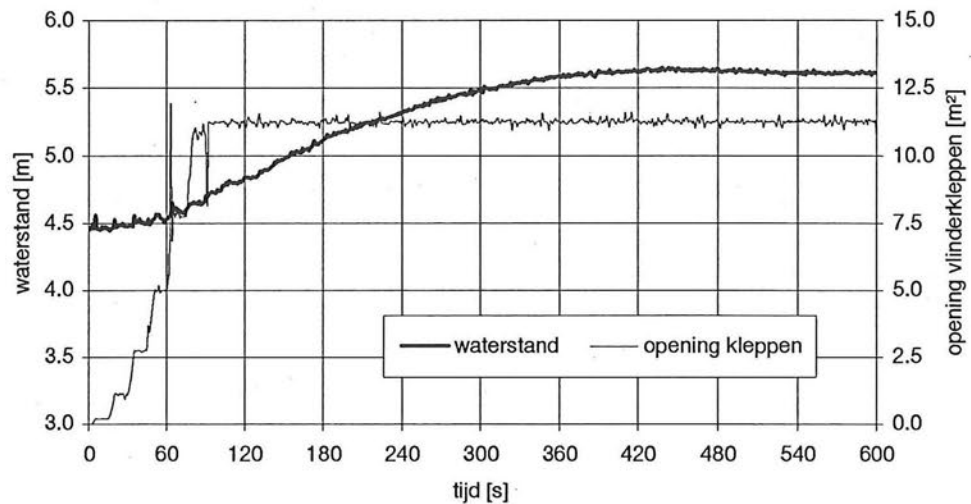


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B030


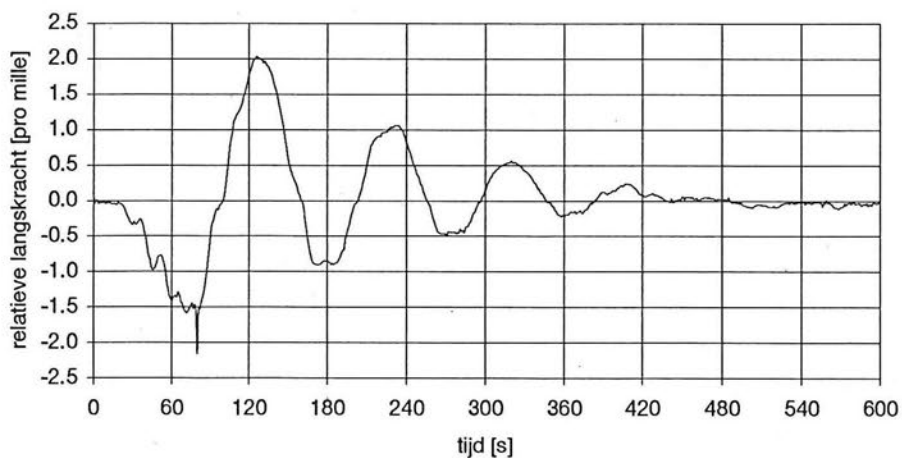
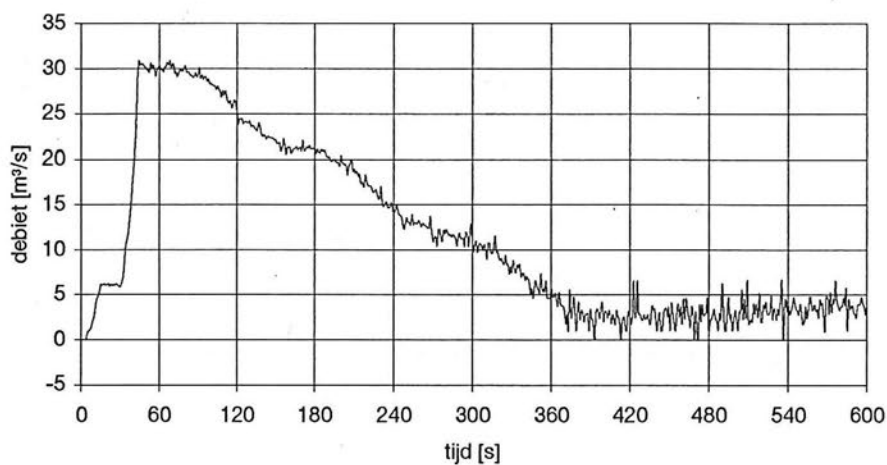
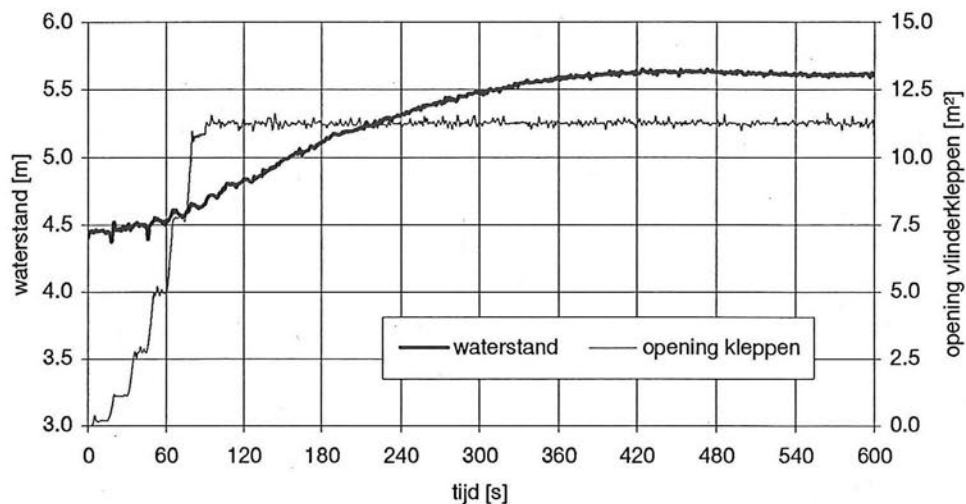
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B031



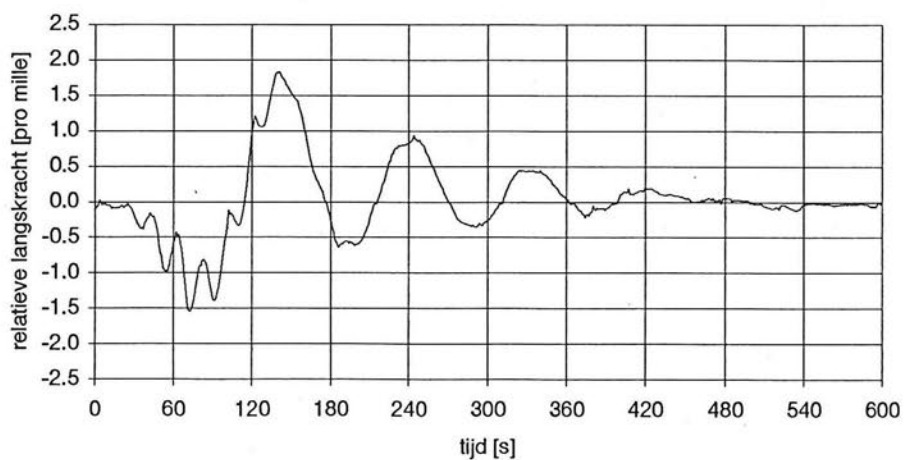
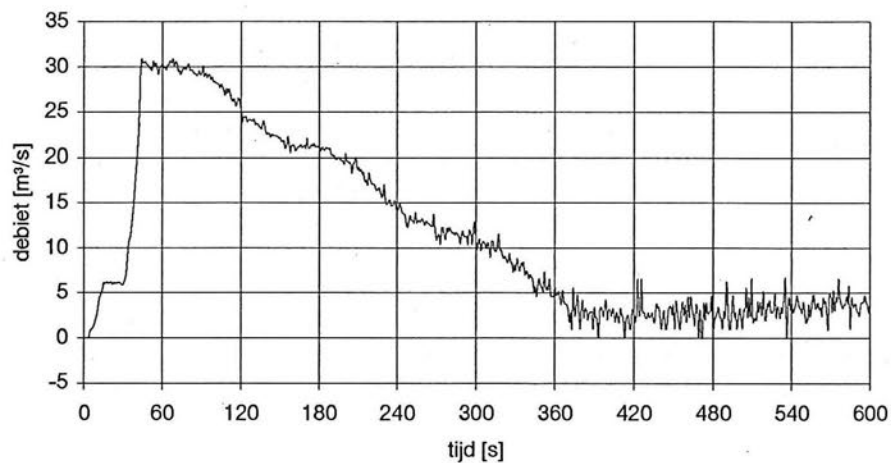
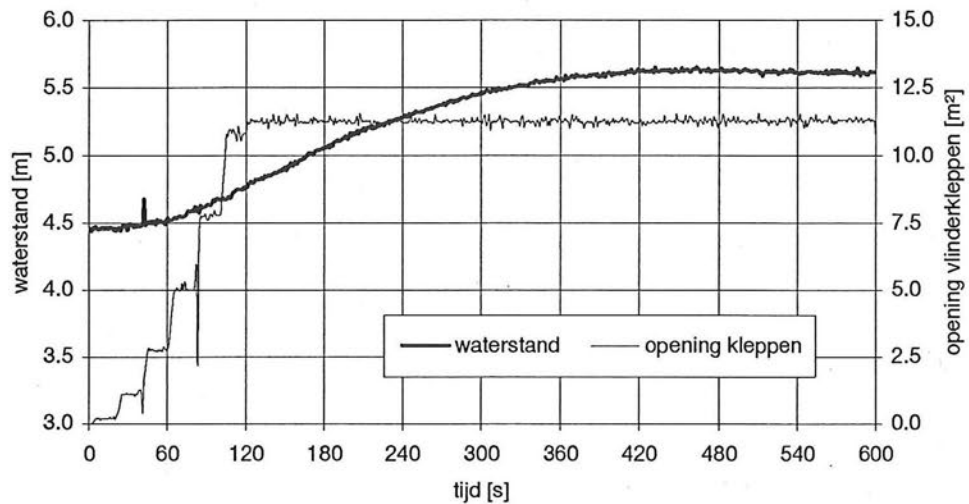
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B032

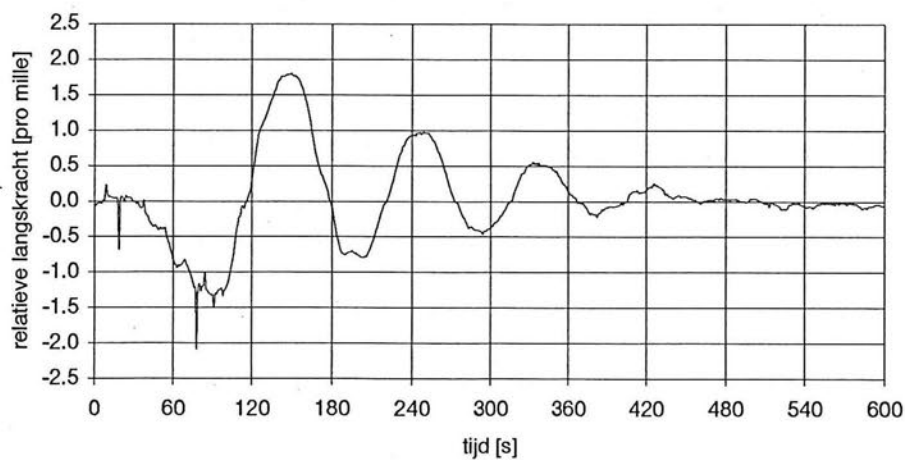
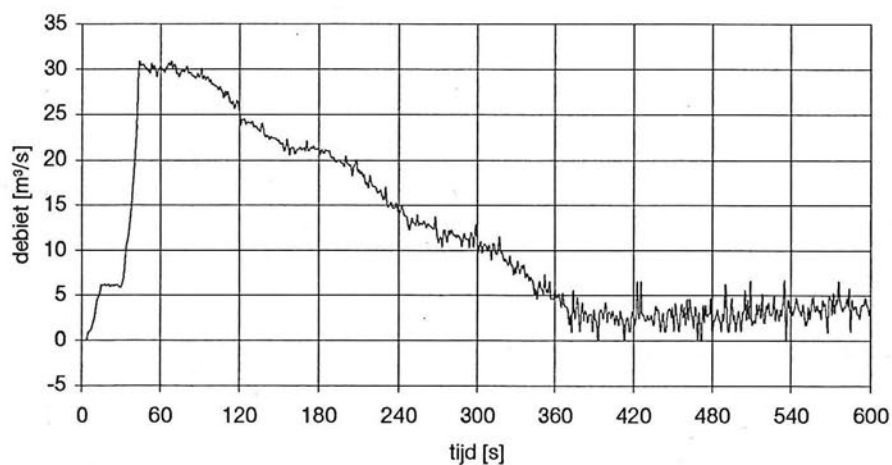
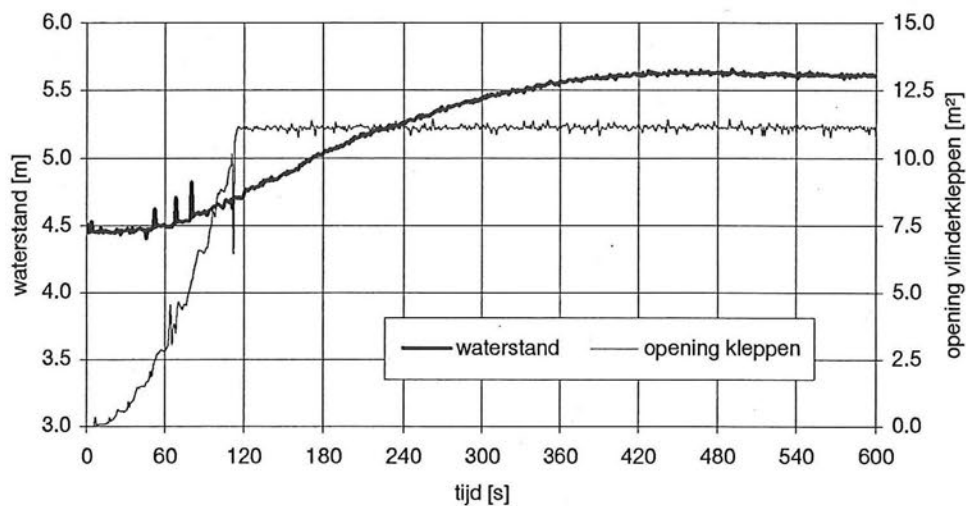


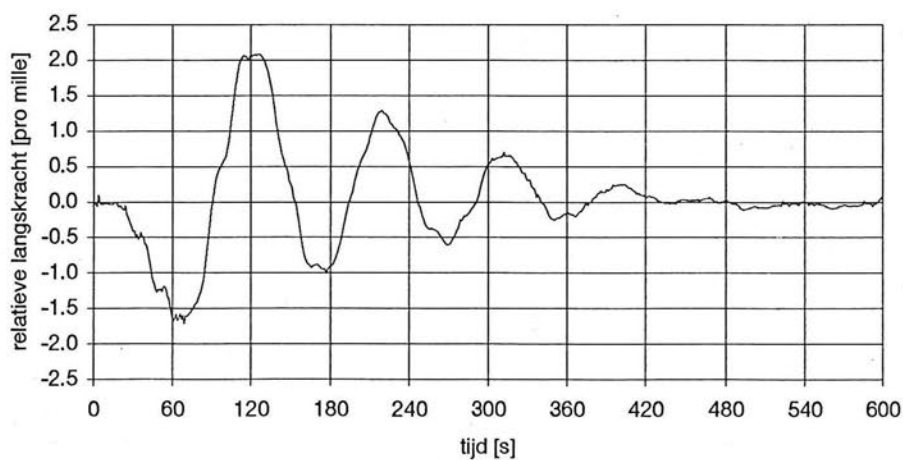
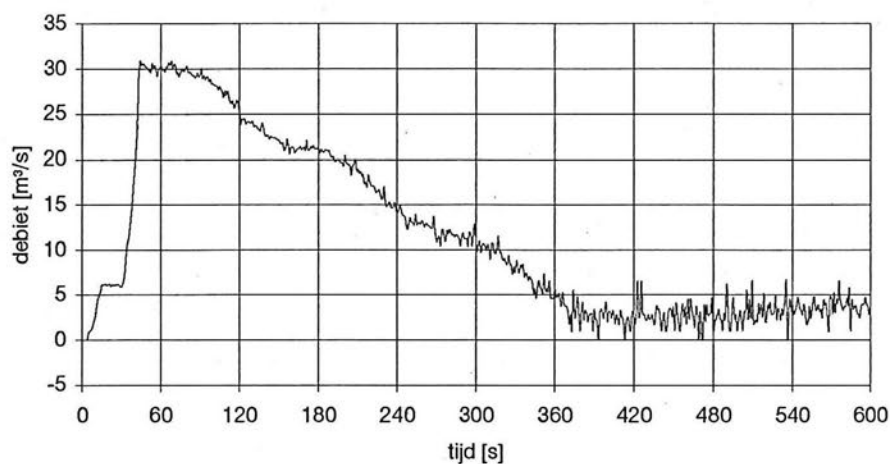
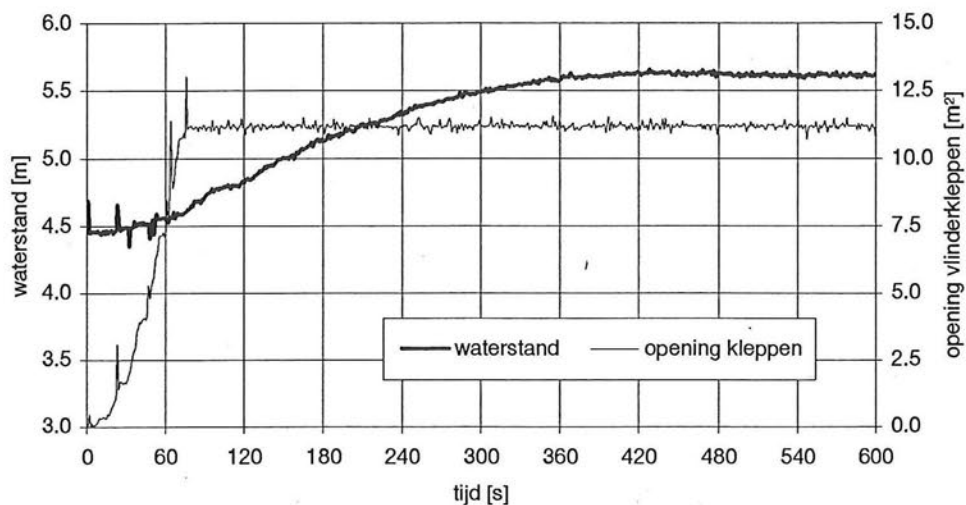
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B033

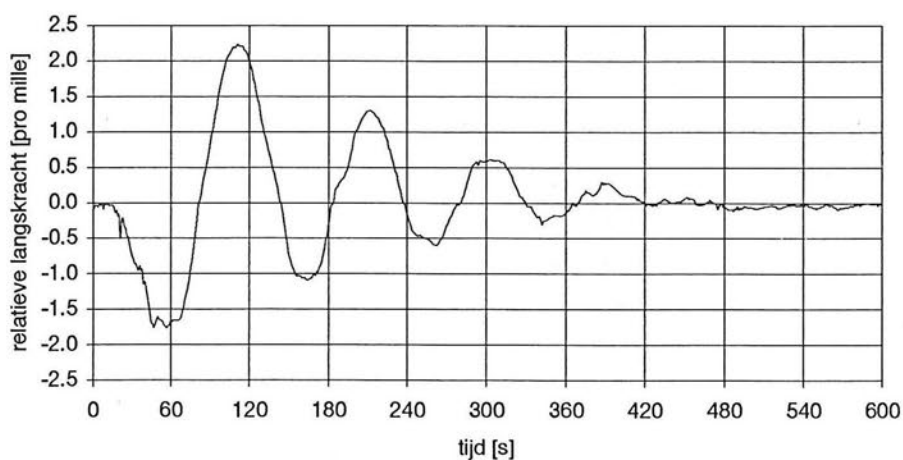
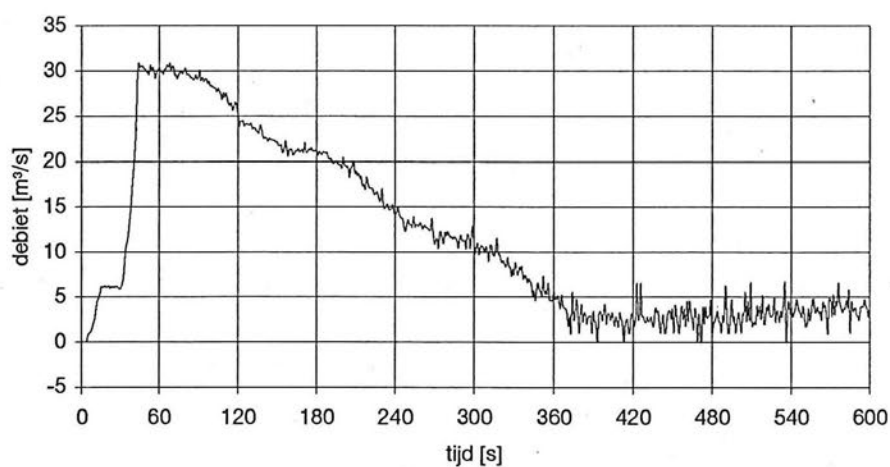
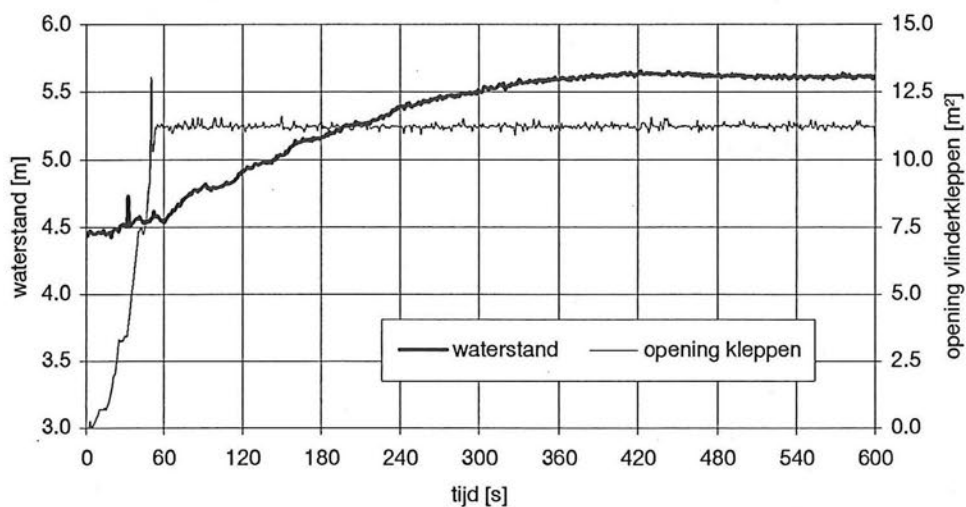


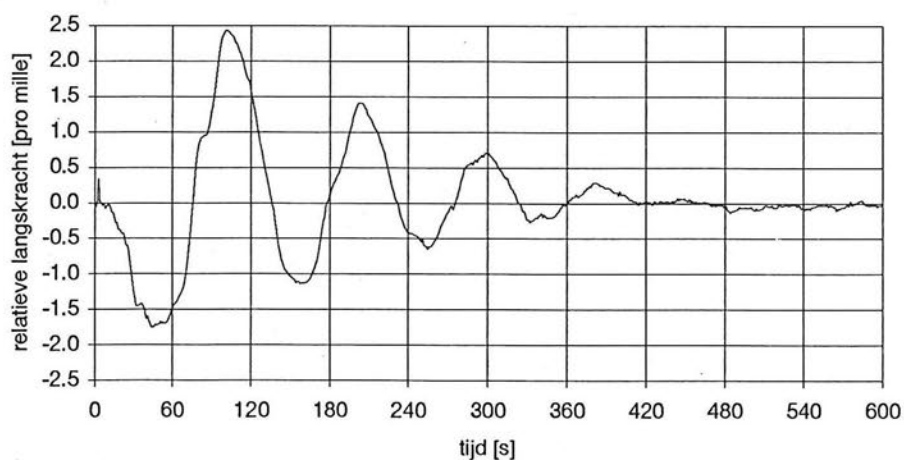
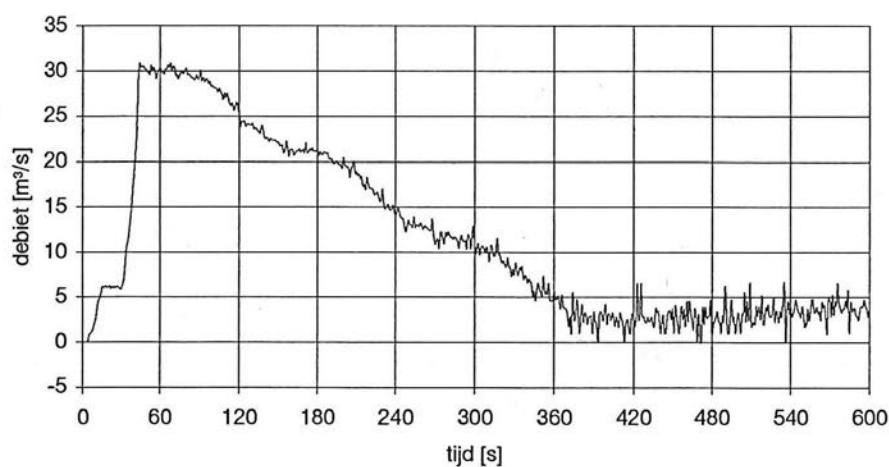
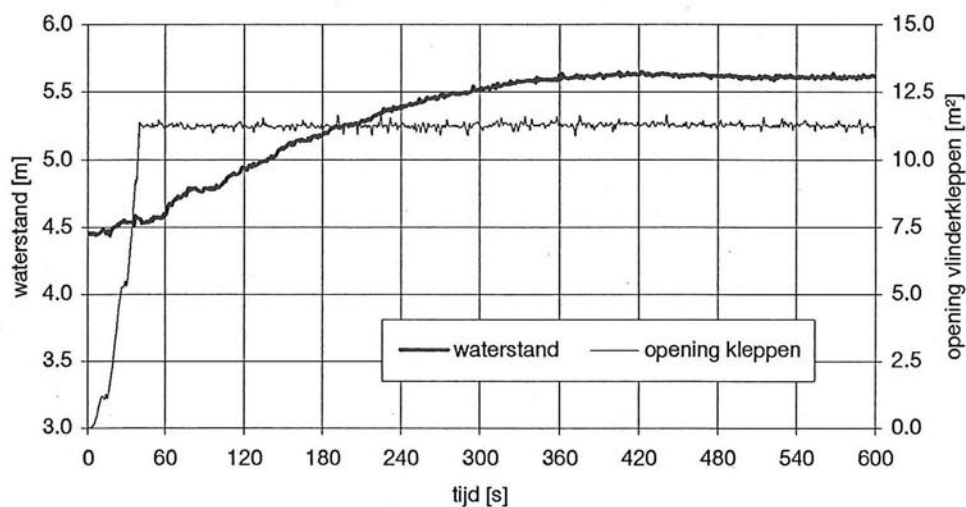
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B034



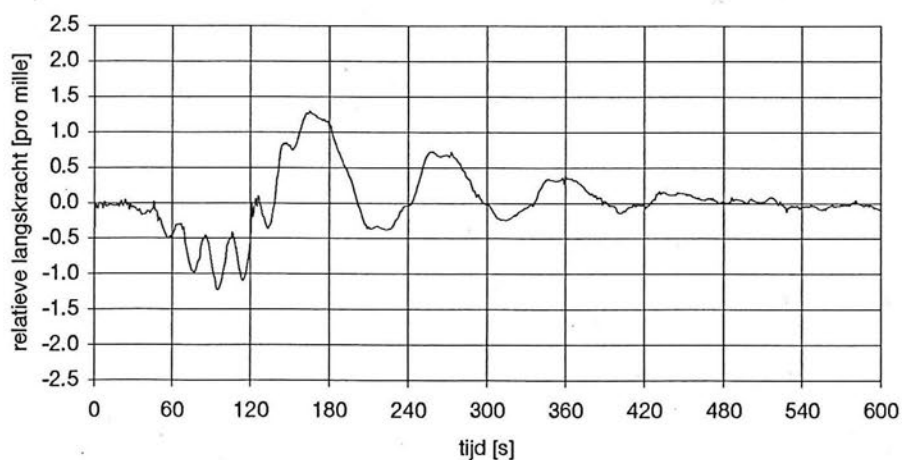
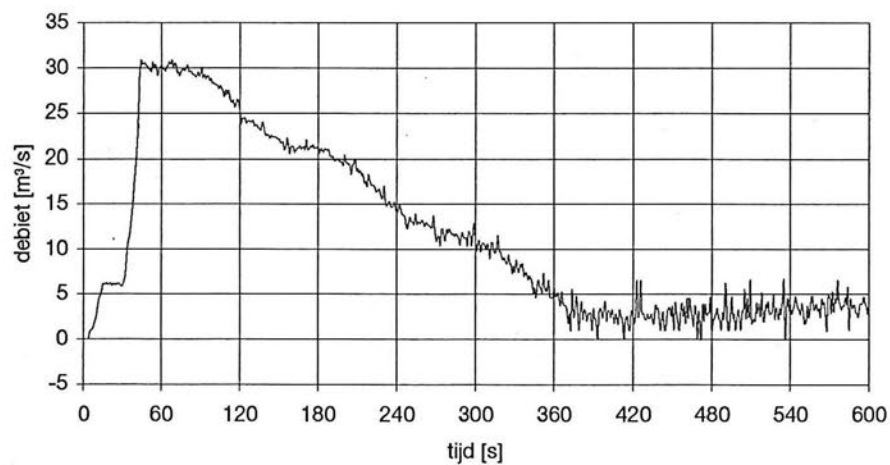
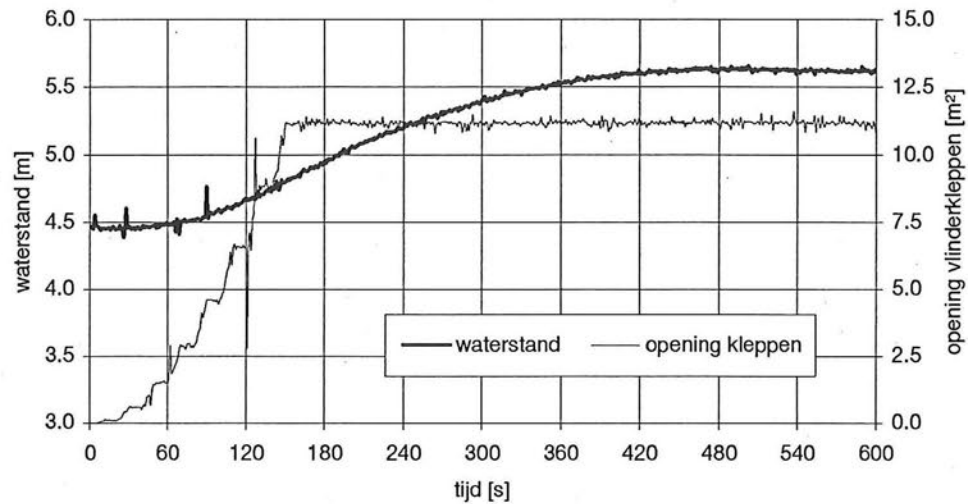
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B035


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B036


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B037


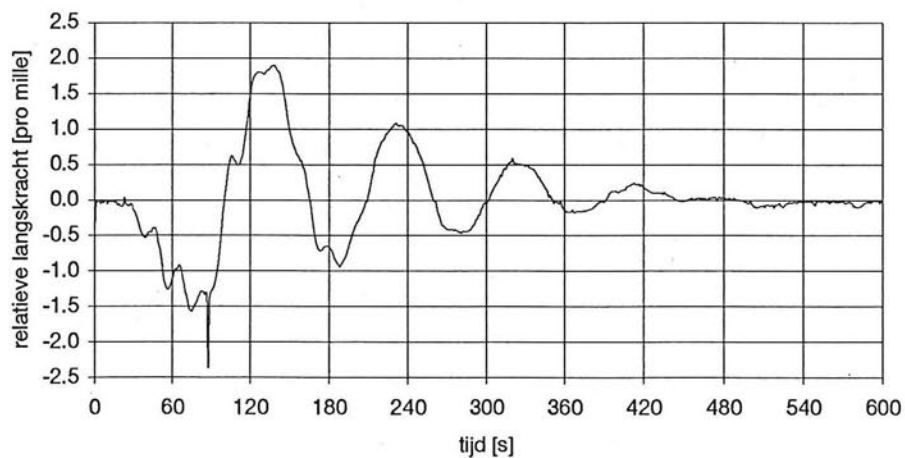
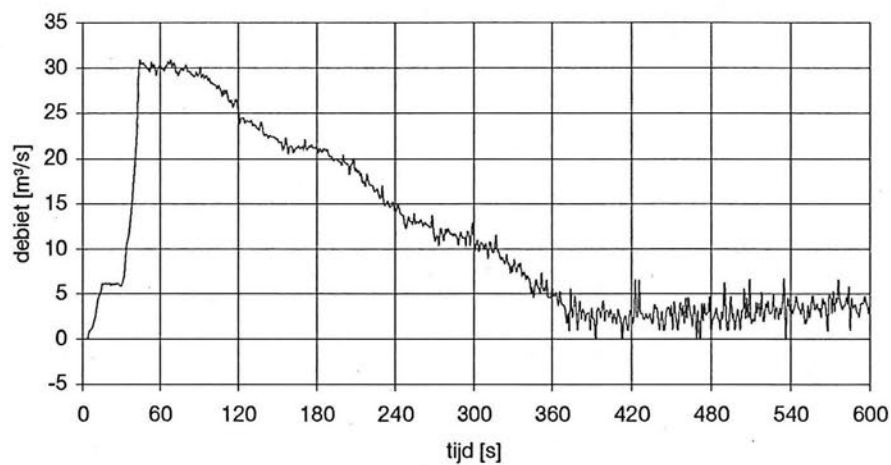
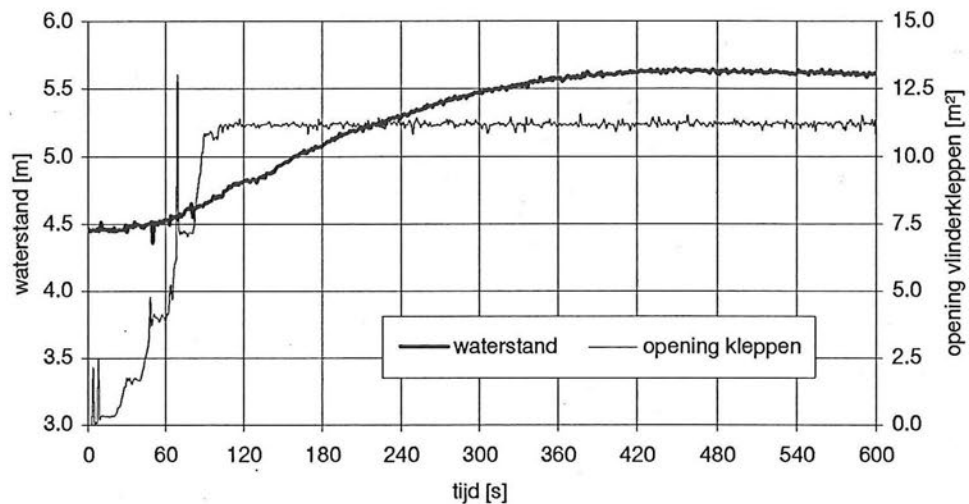
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B038


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B039



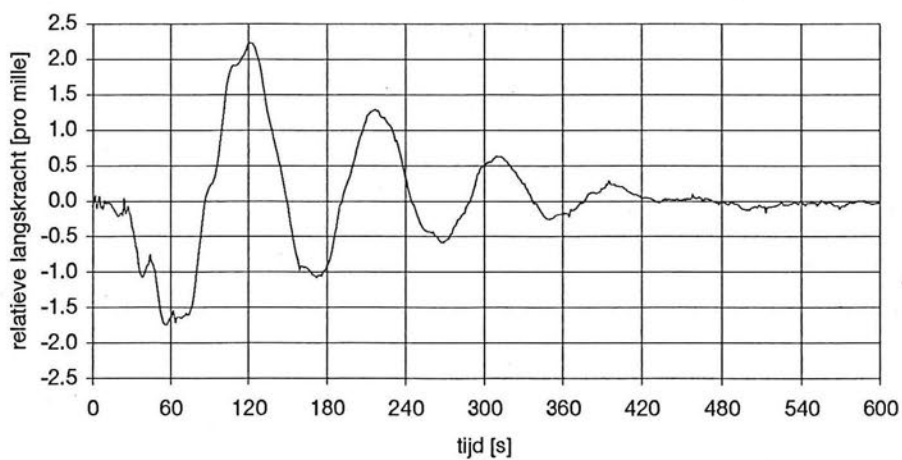
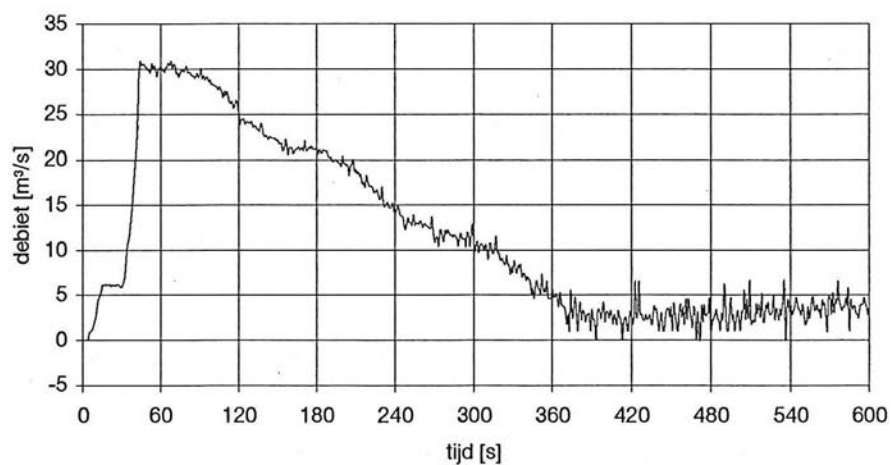
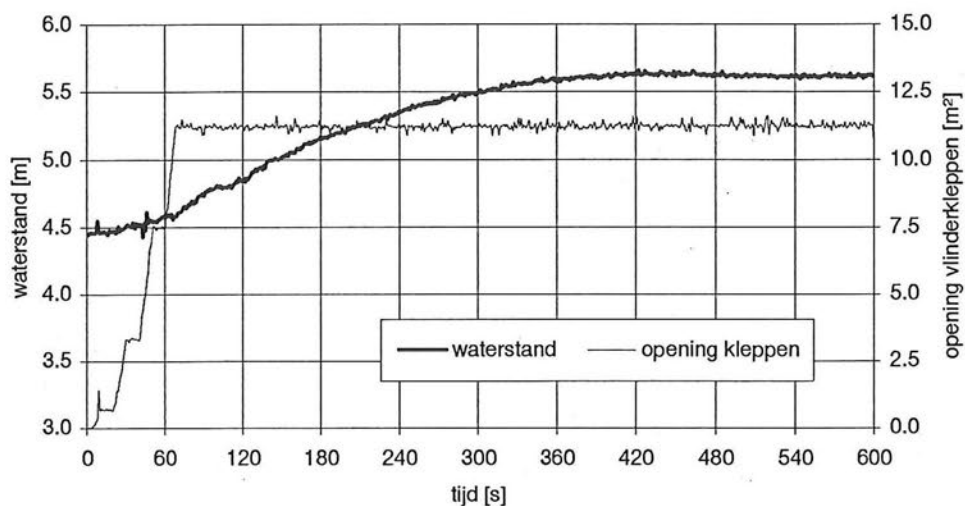


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B040



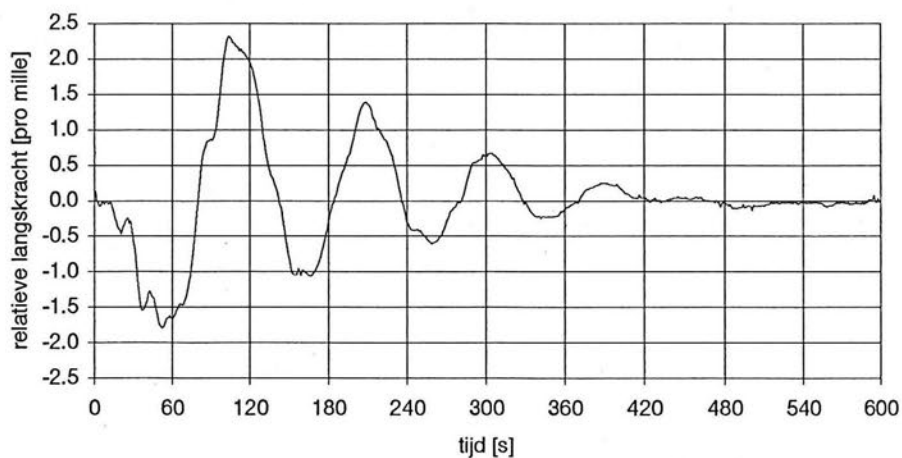
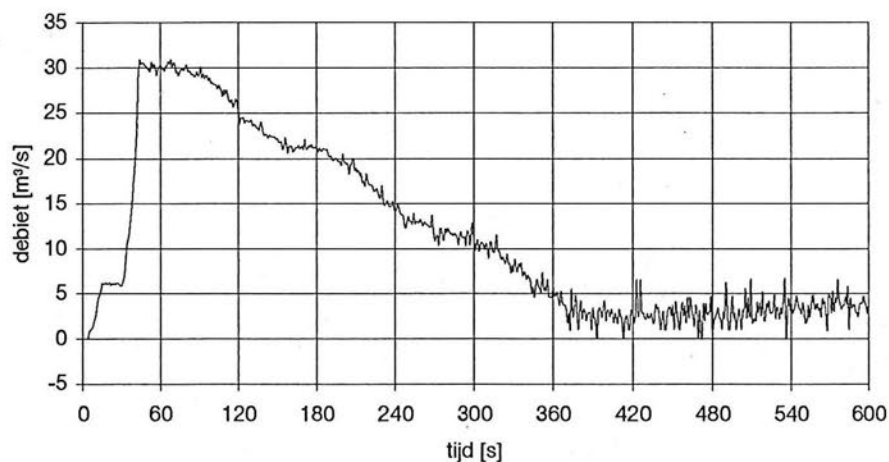
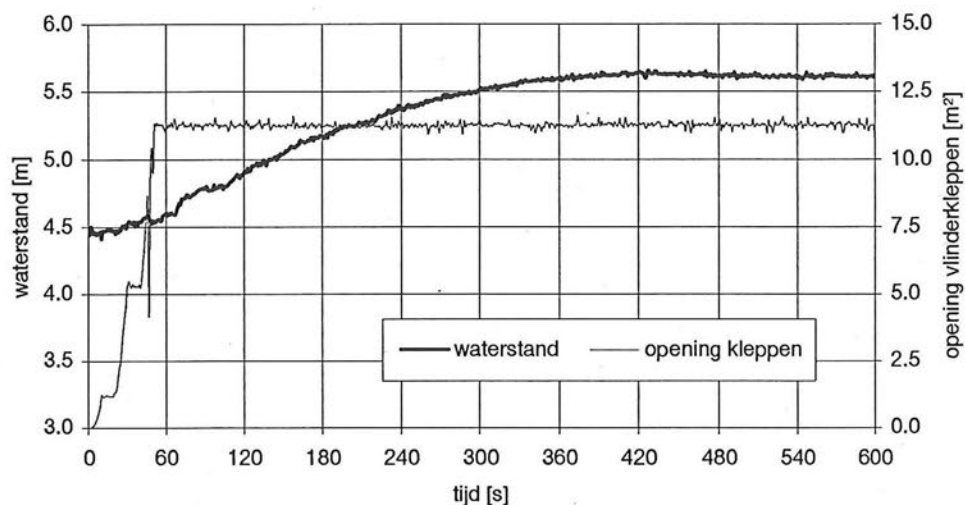


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B041



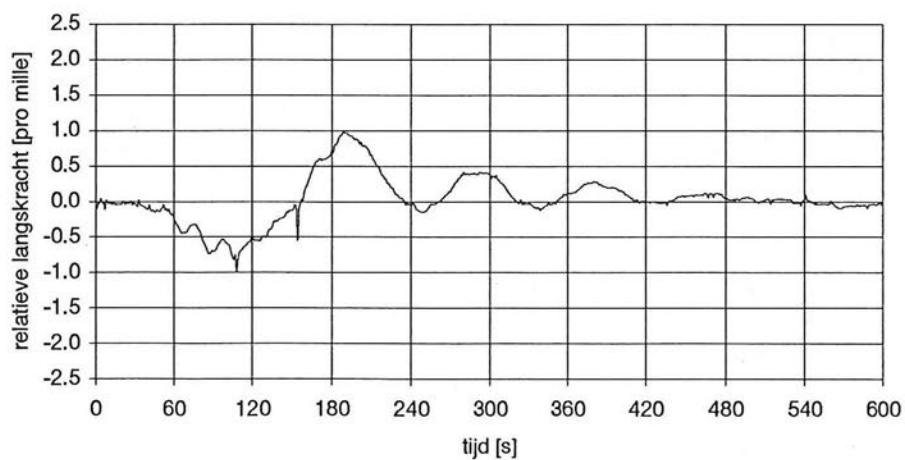
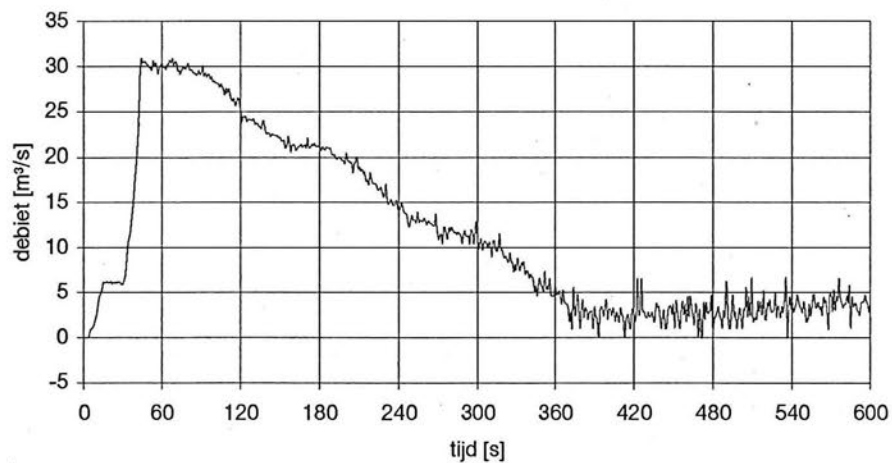
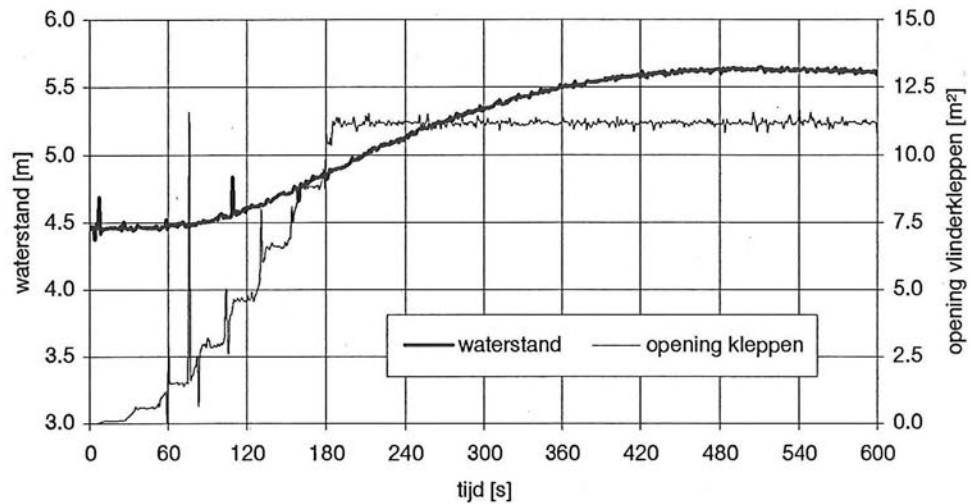


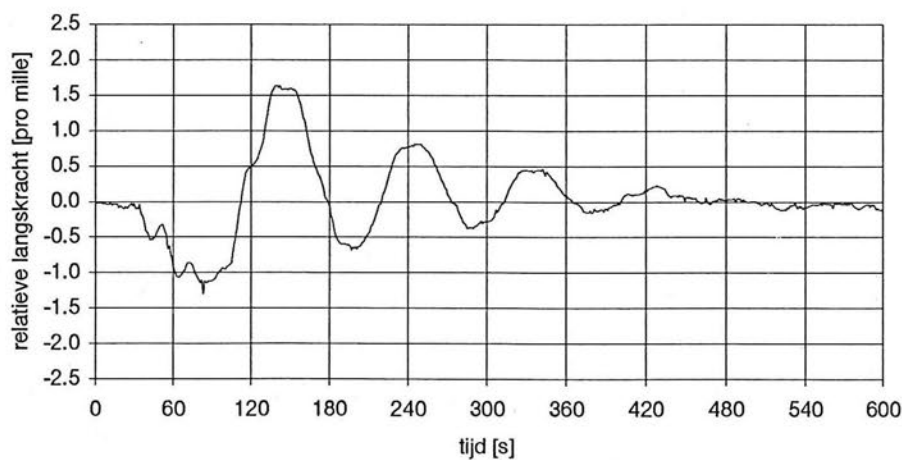
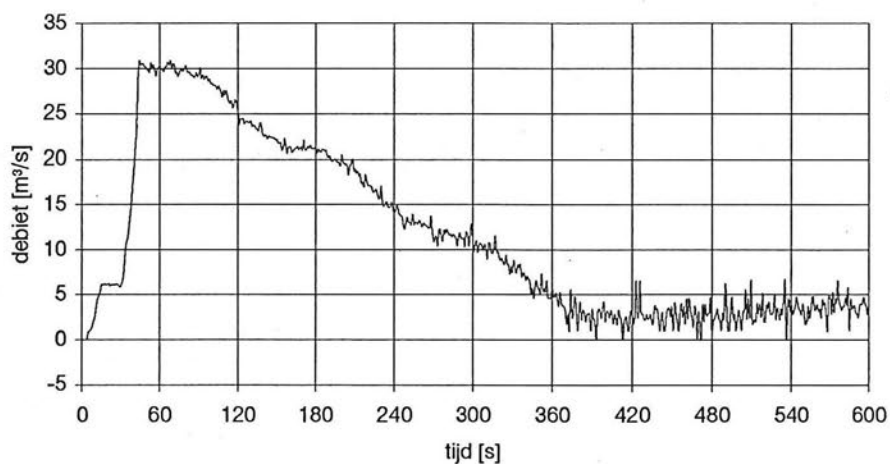
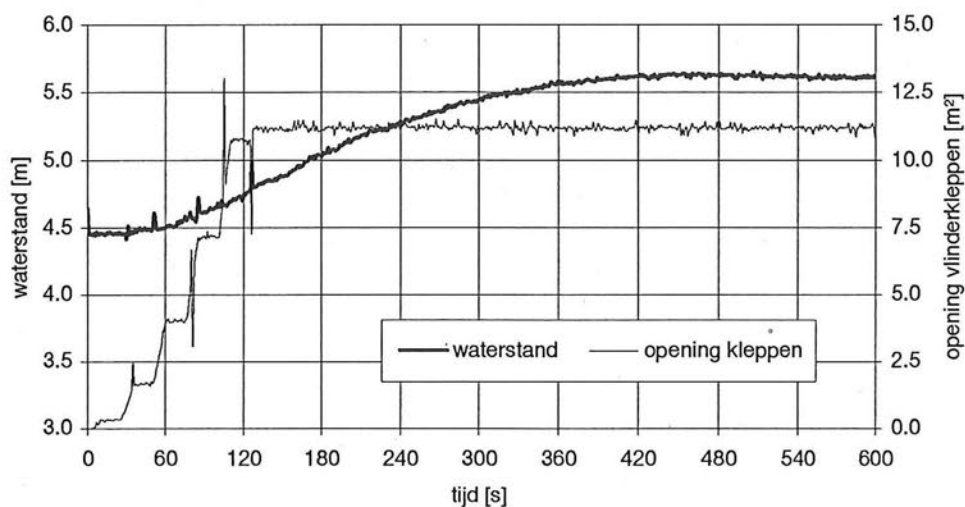
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B042



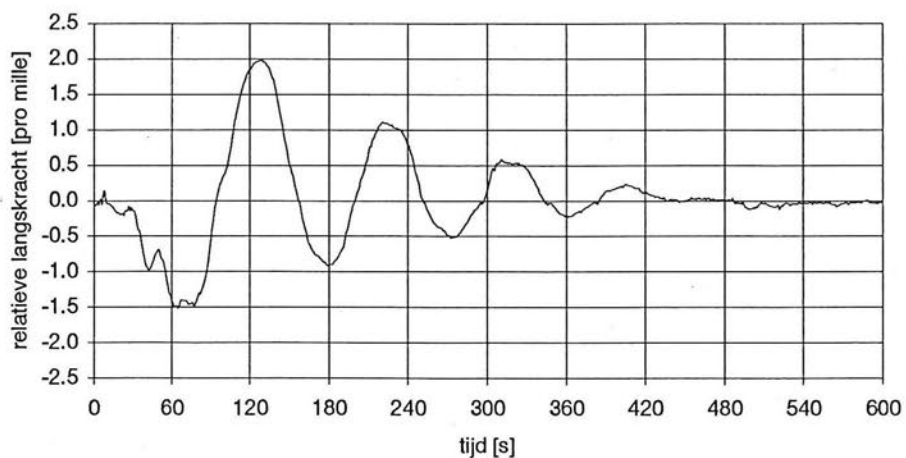
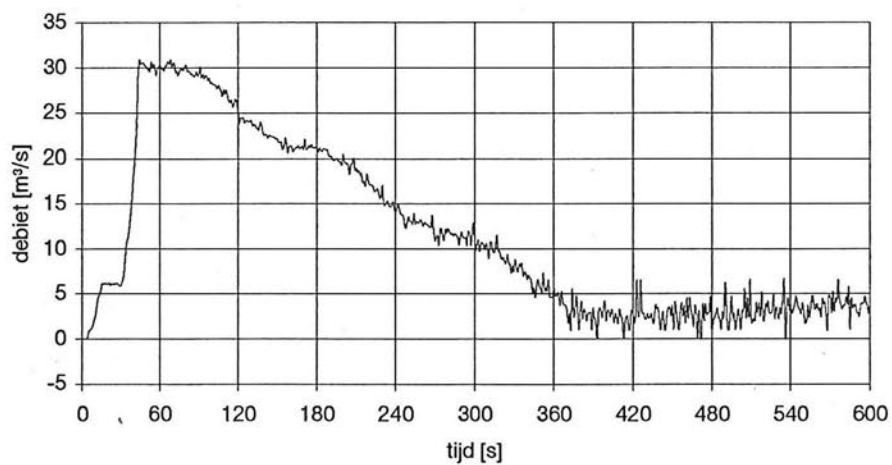
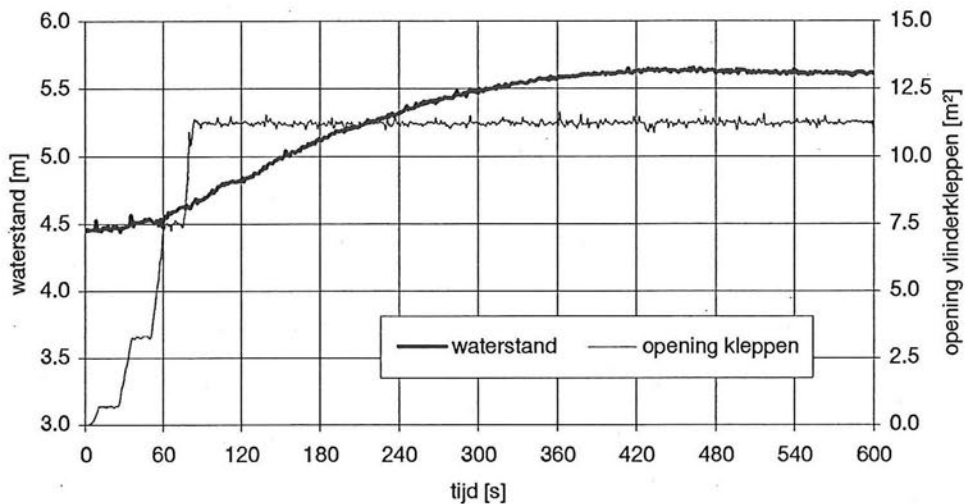


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B043

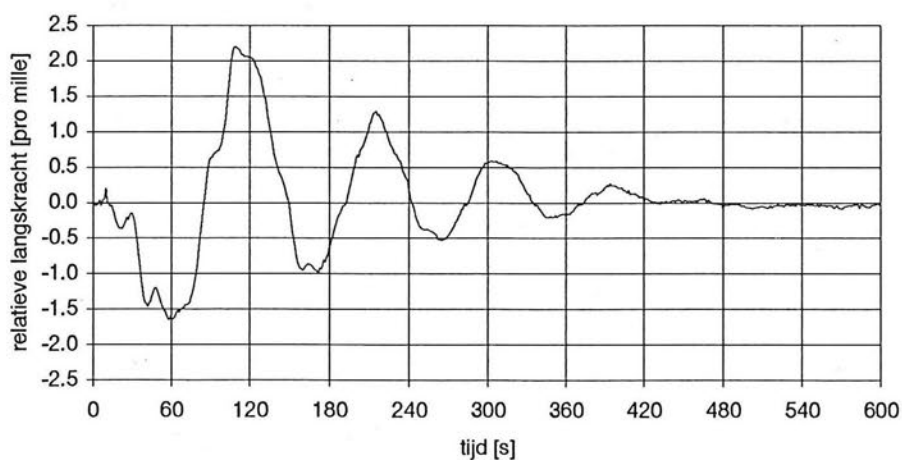
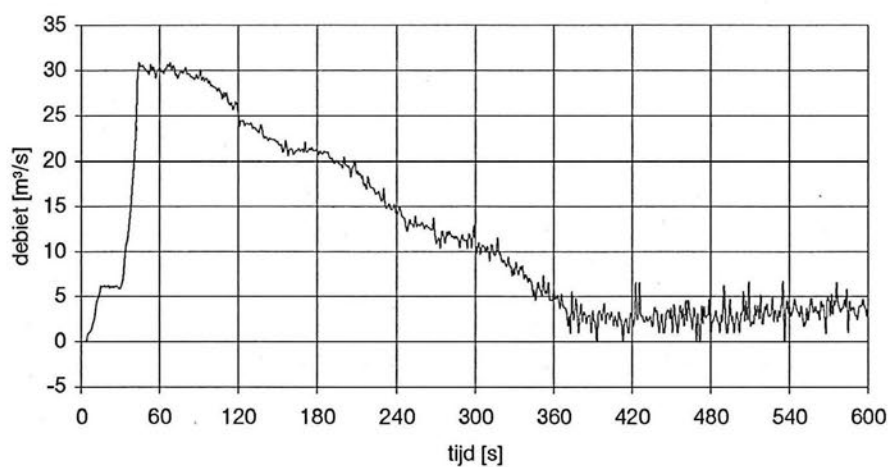
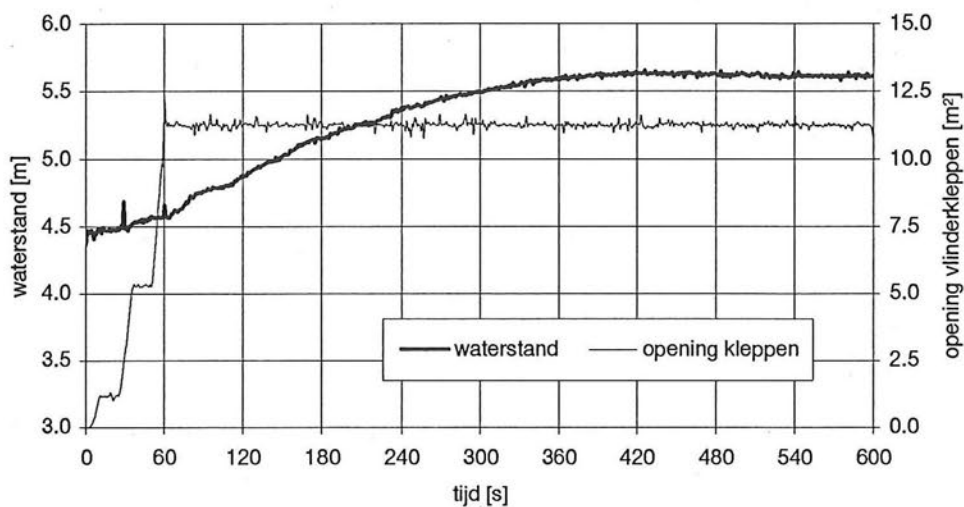


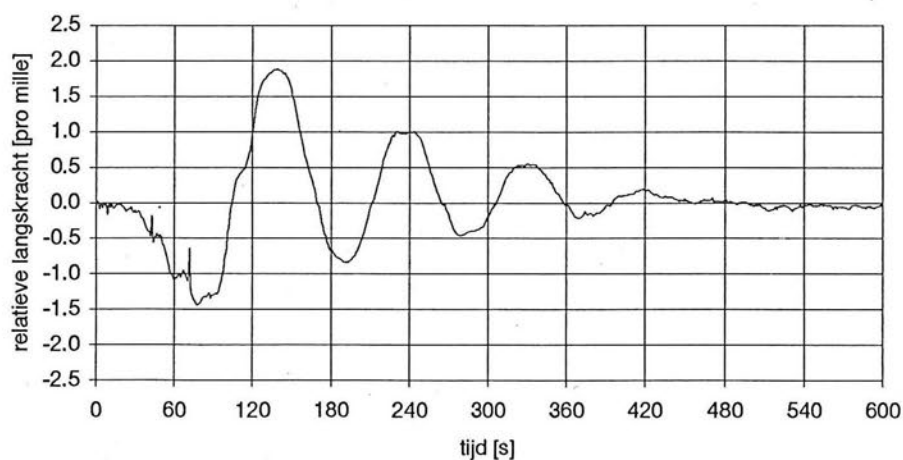
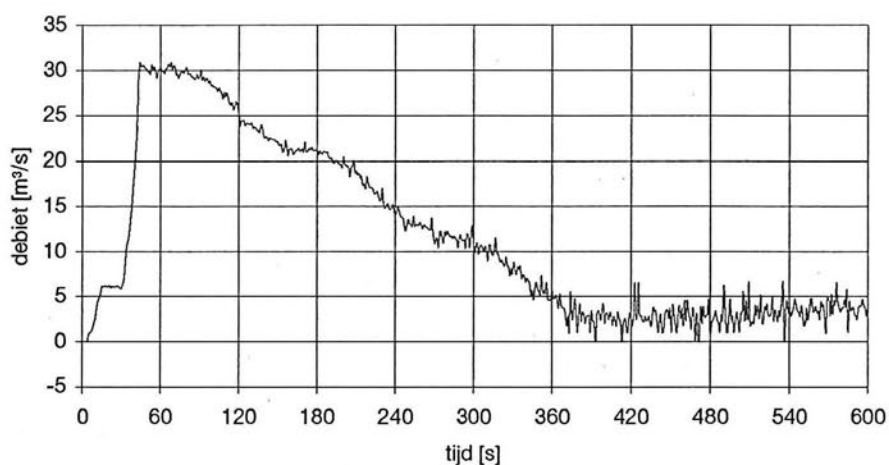
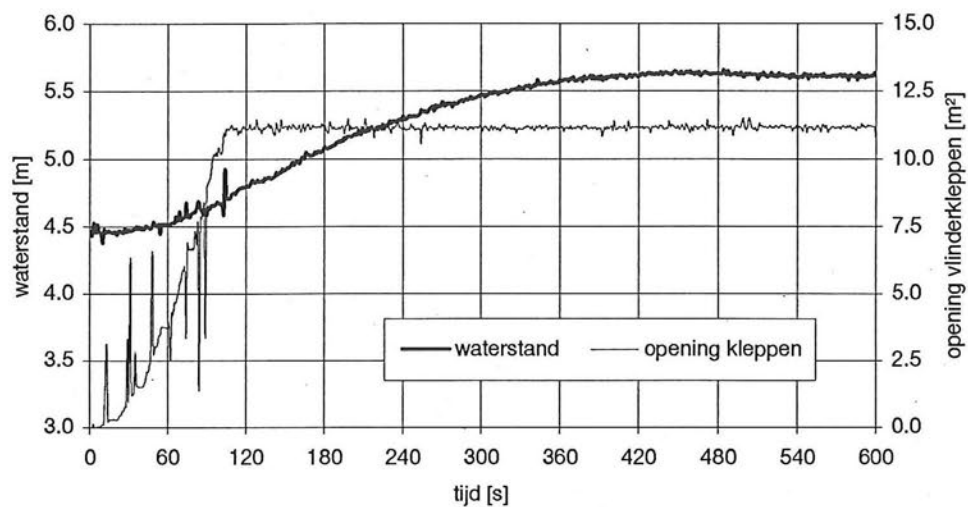
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B044


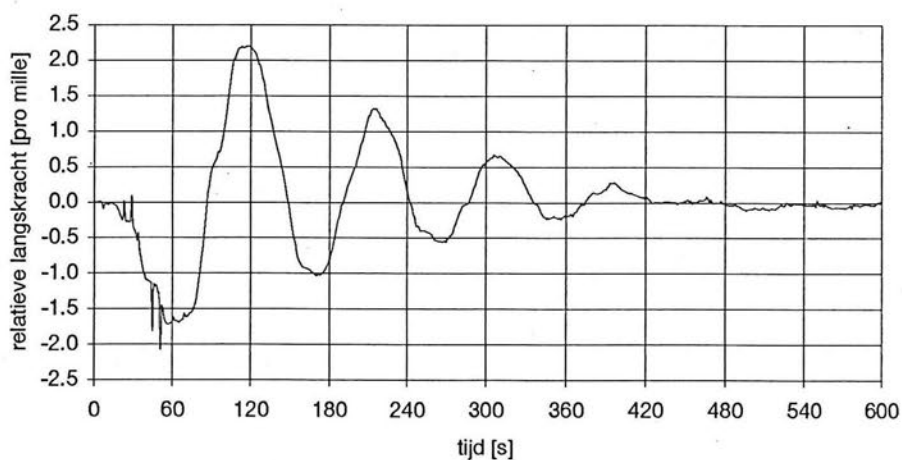
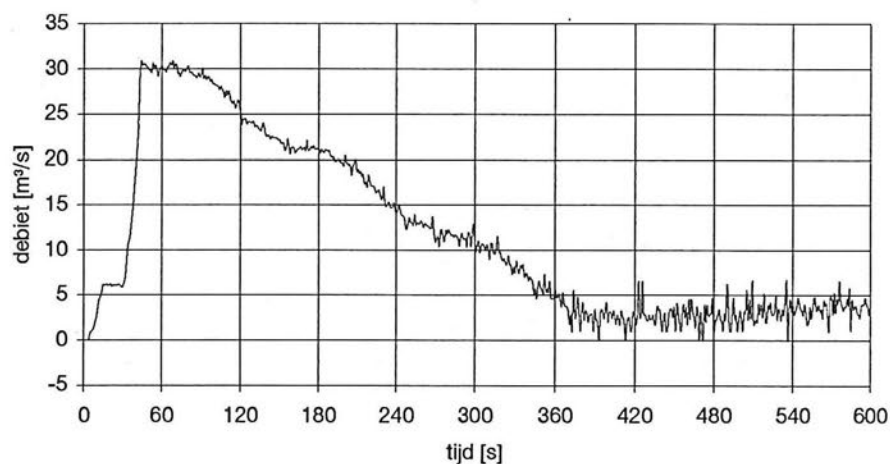
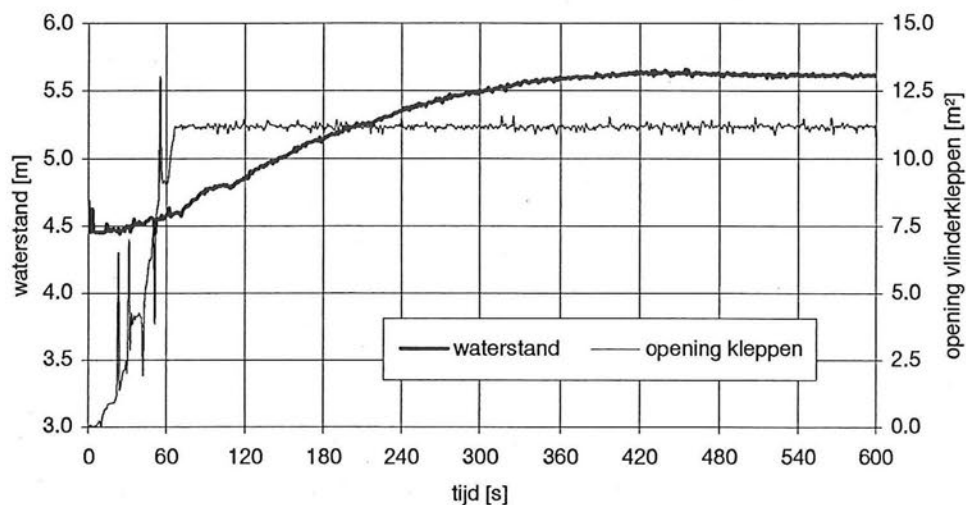
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B045



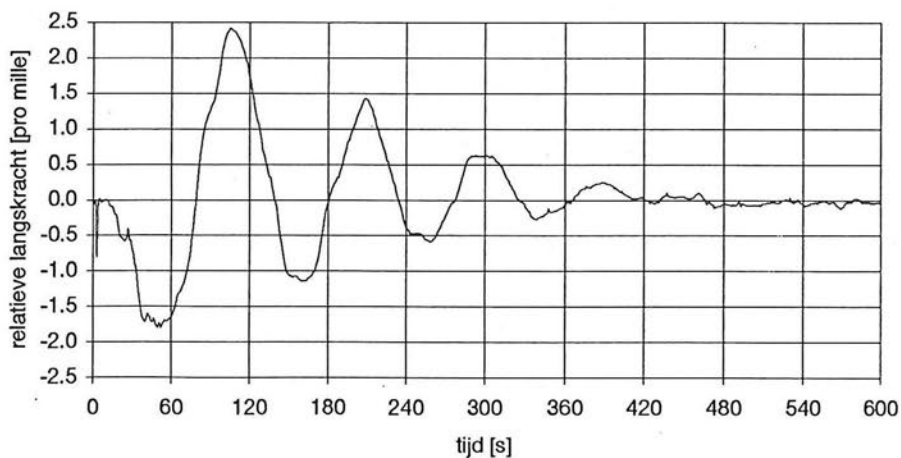
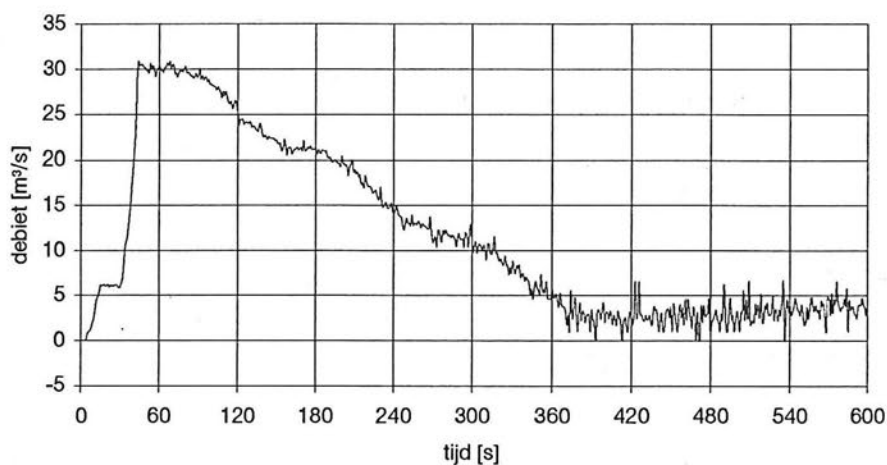
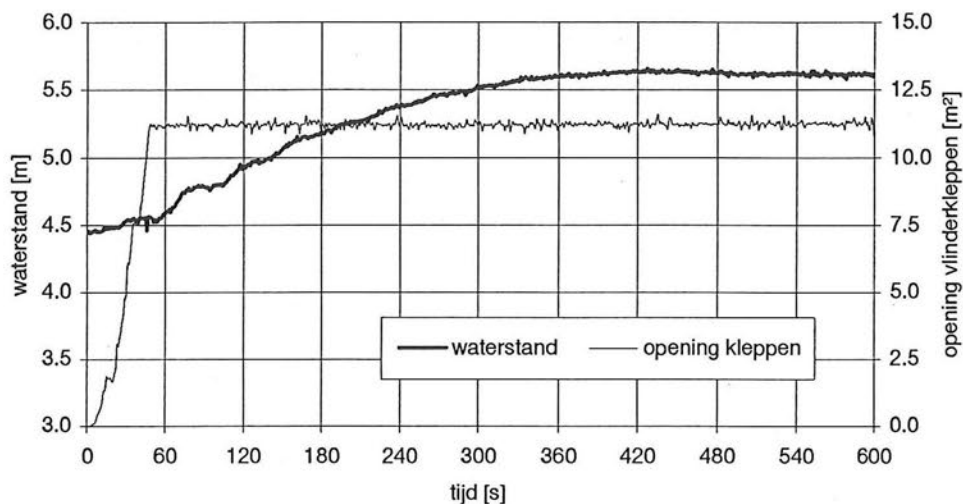
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B046

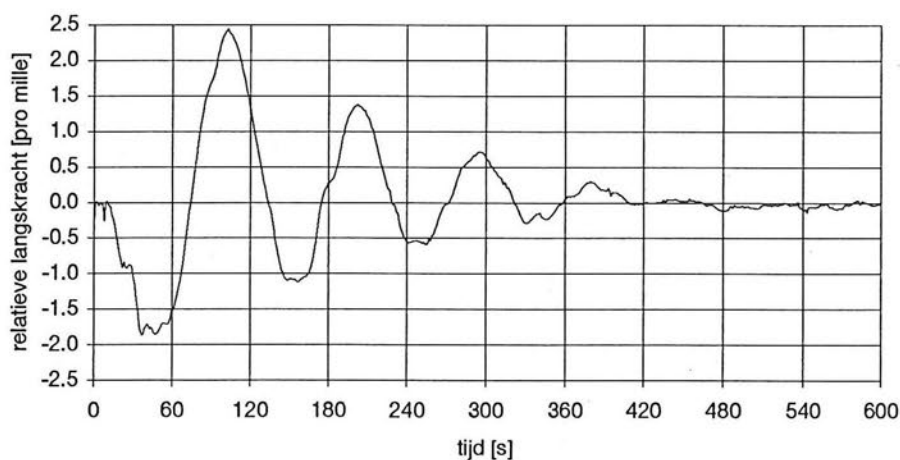
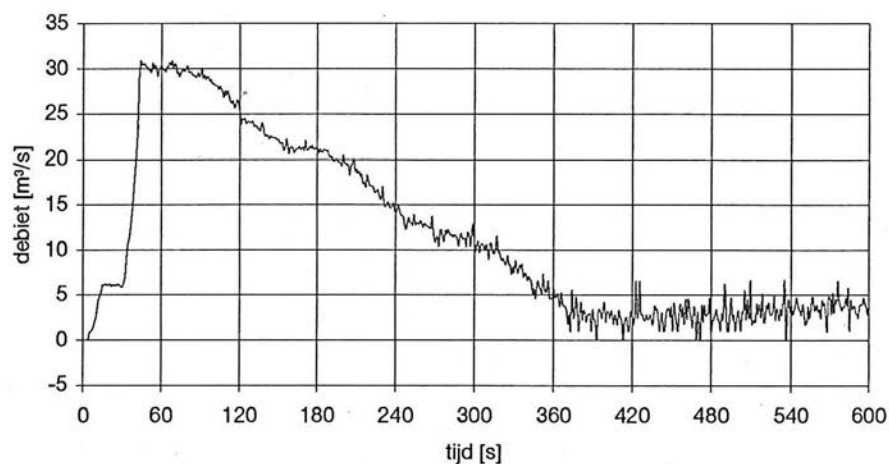
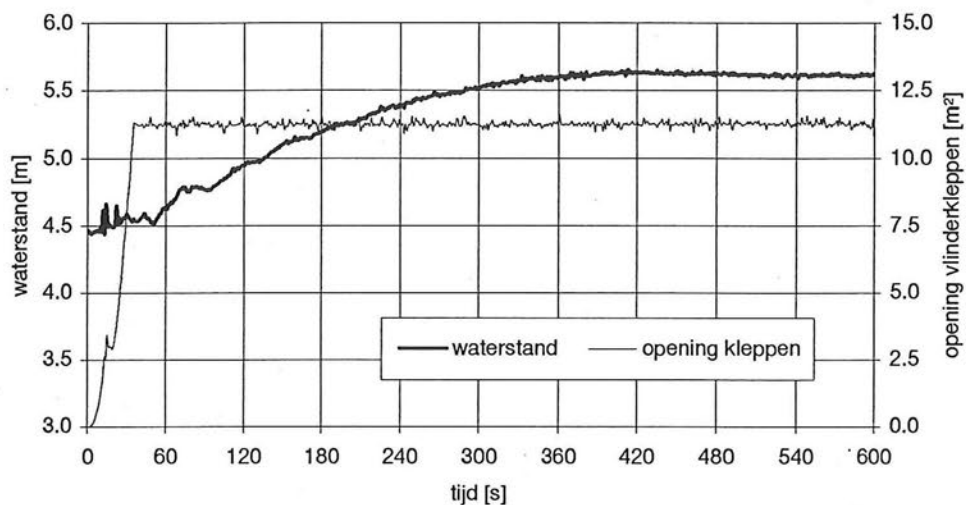


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B047


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B048


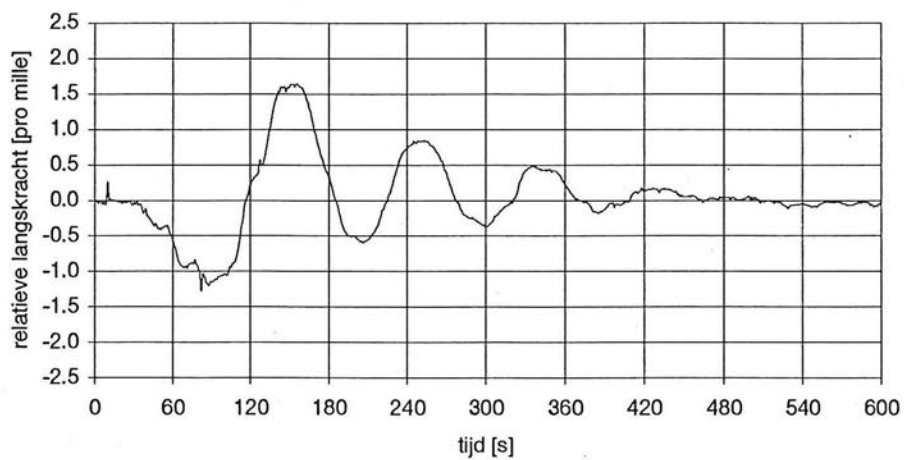
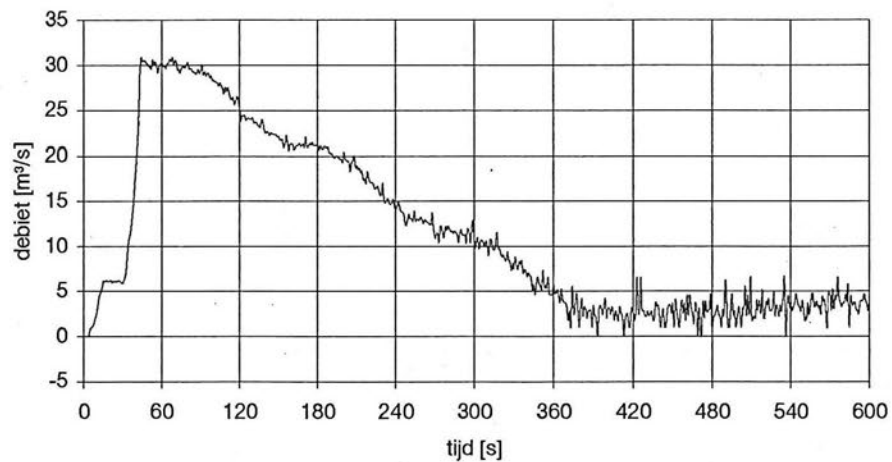
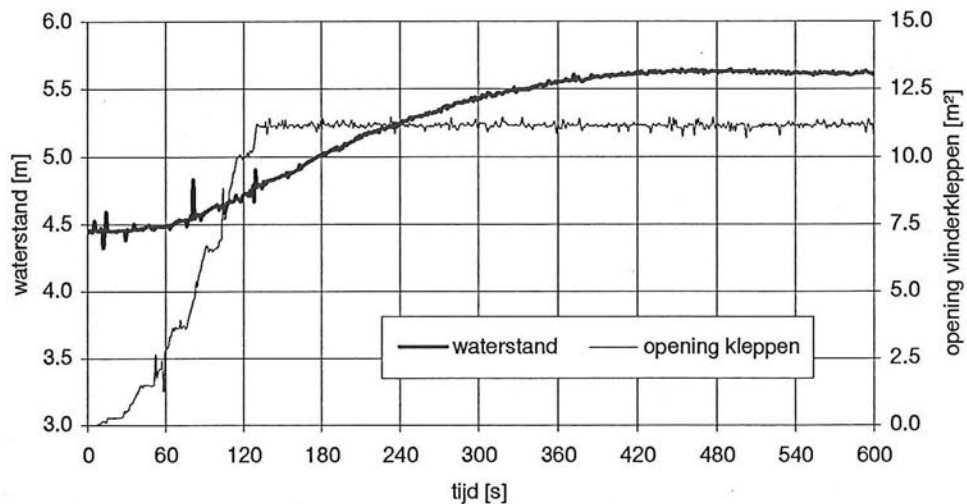
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B049



VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B050


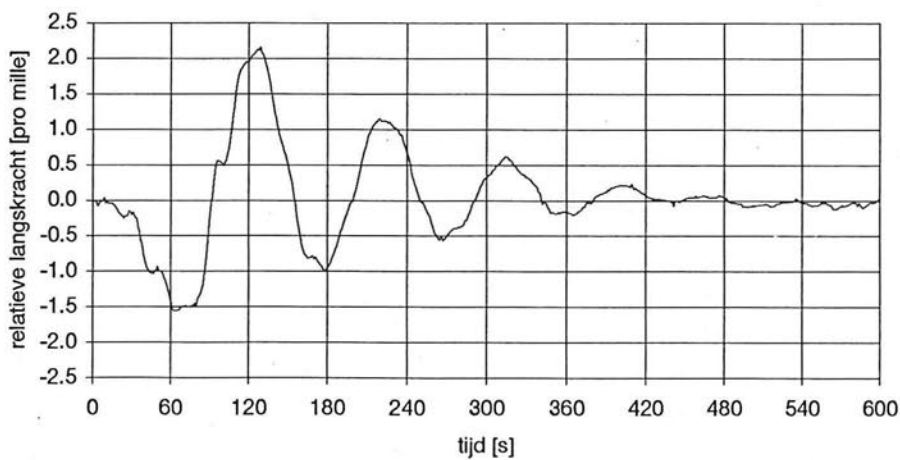
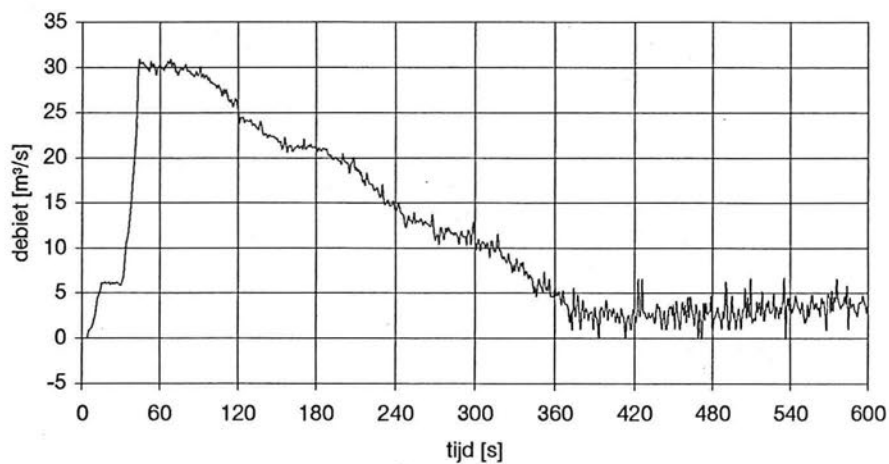
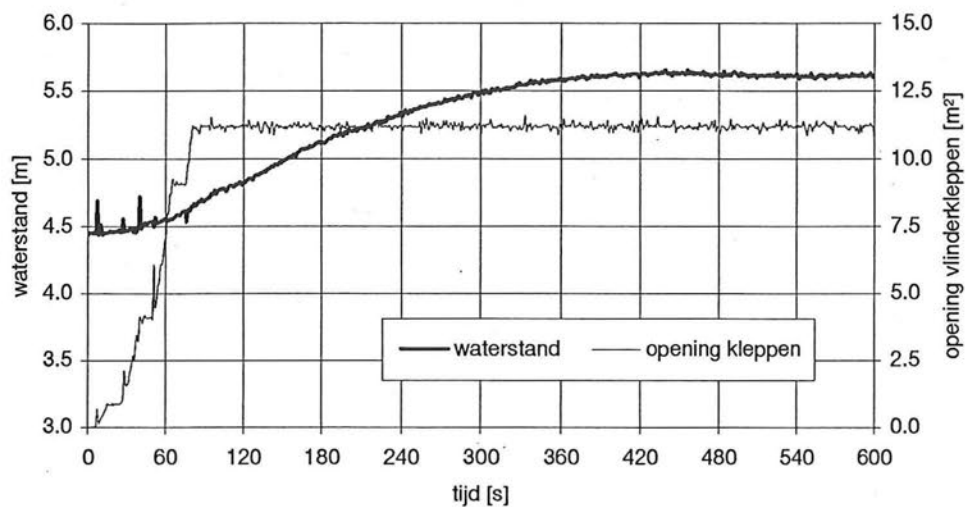


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B051



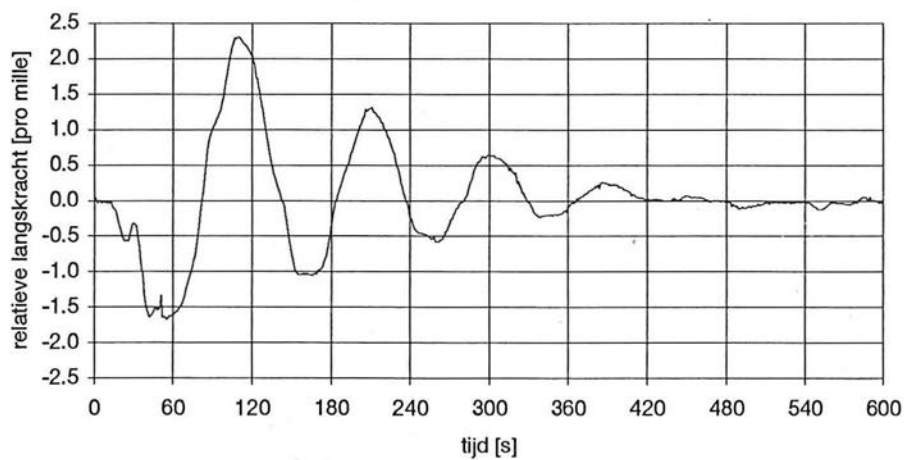
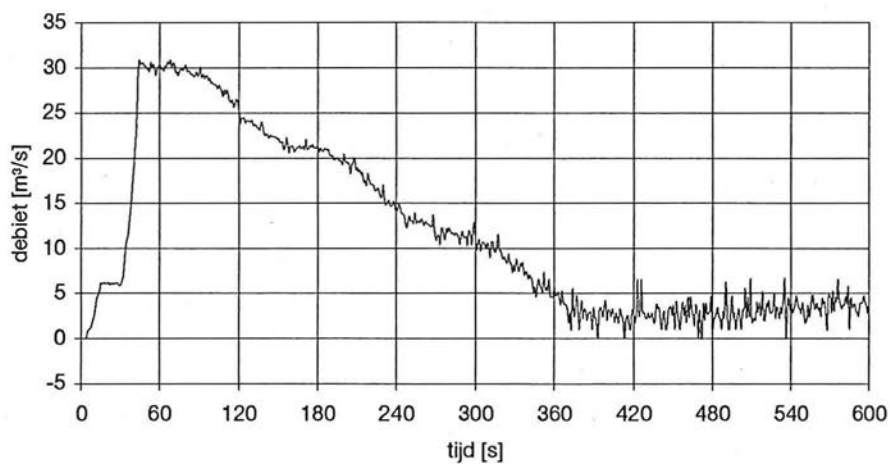
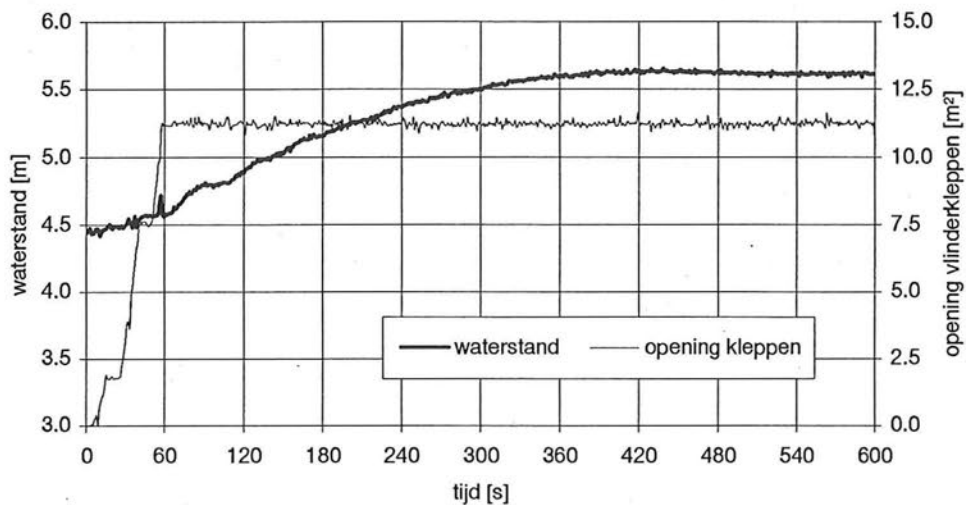


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B052

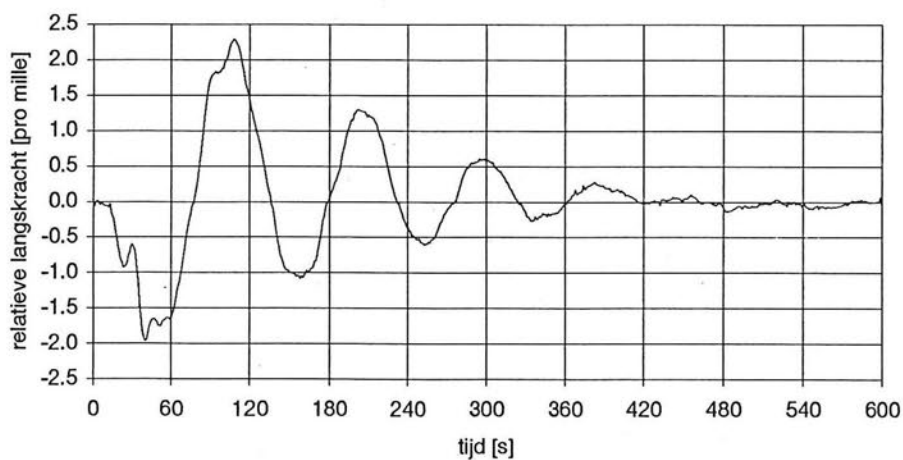
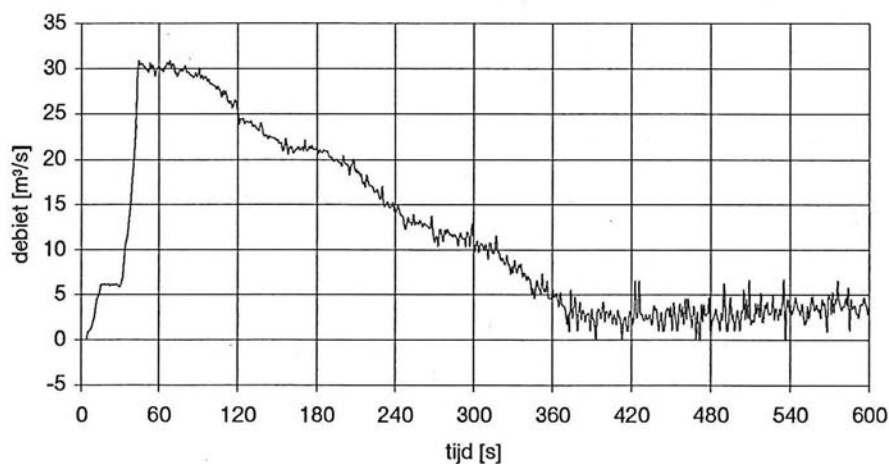
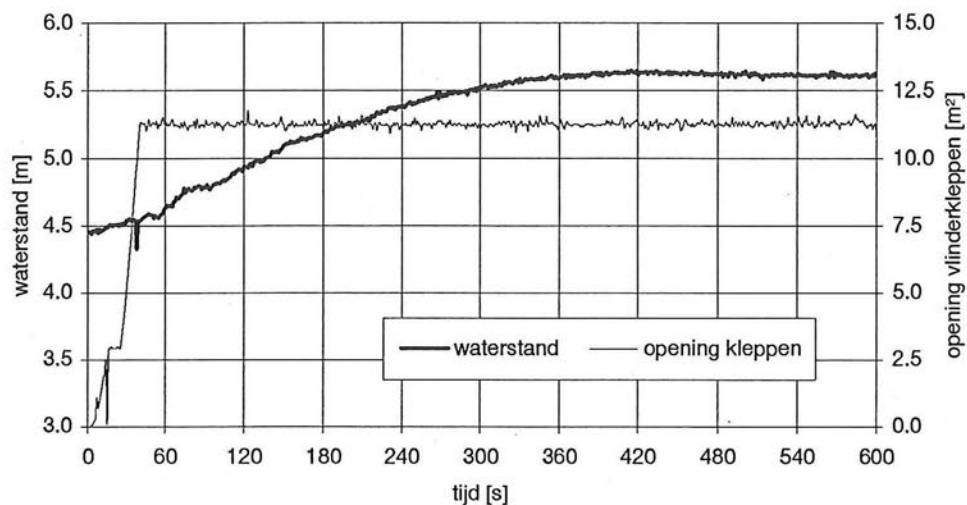




VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B053

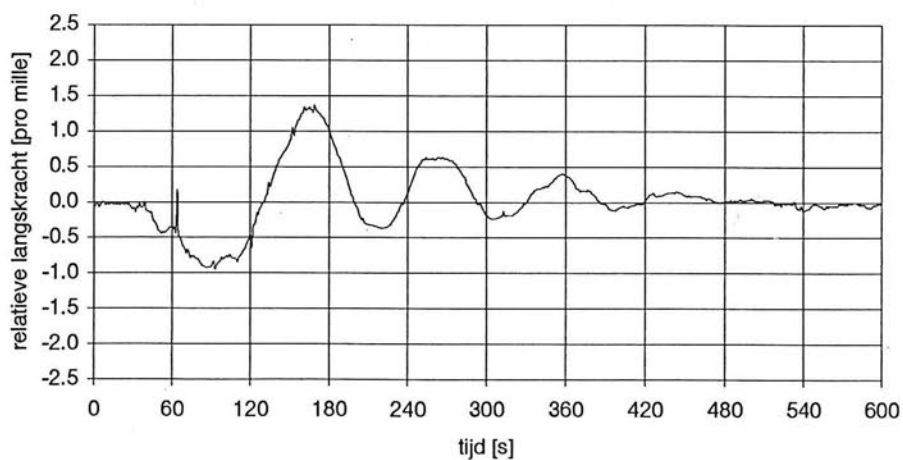
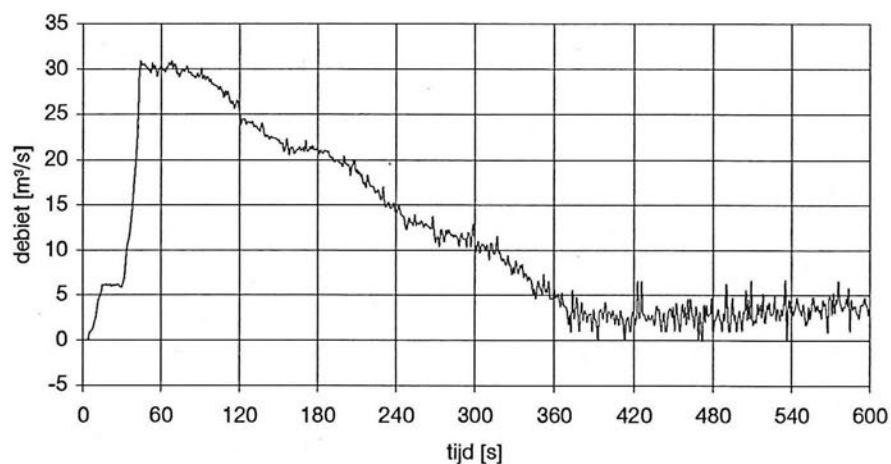
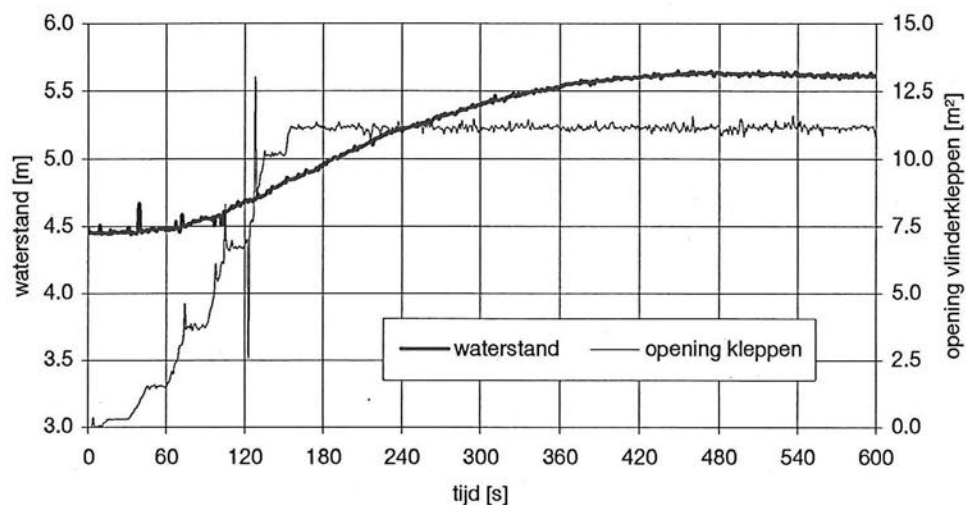


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B054

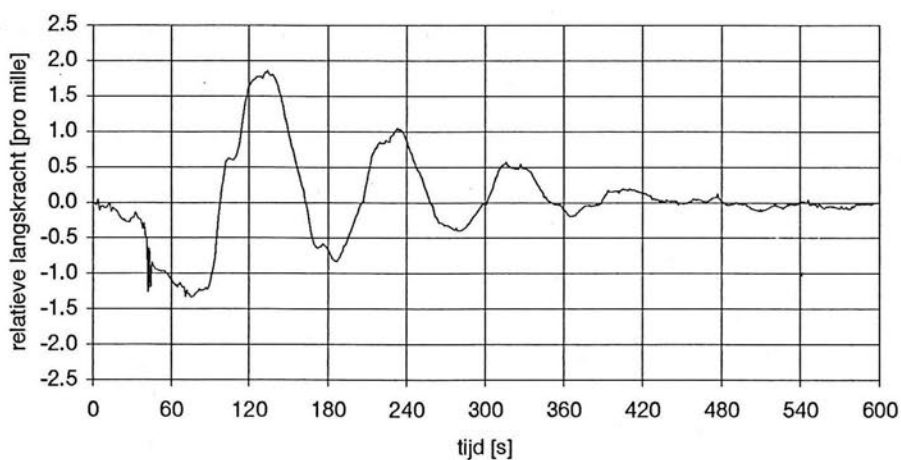
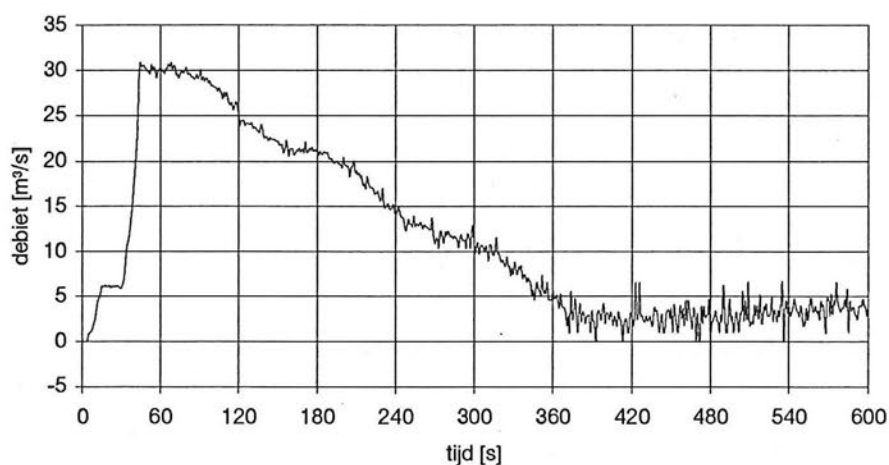
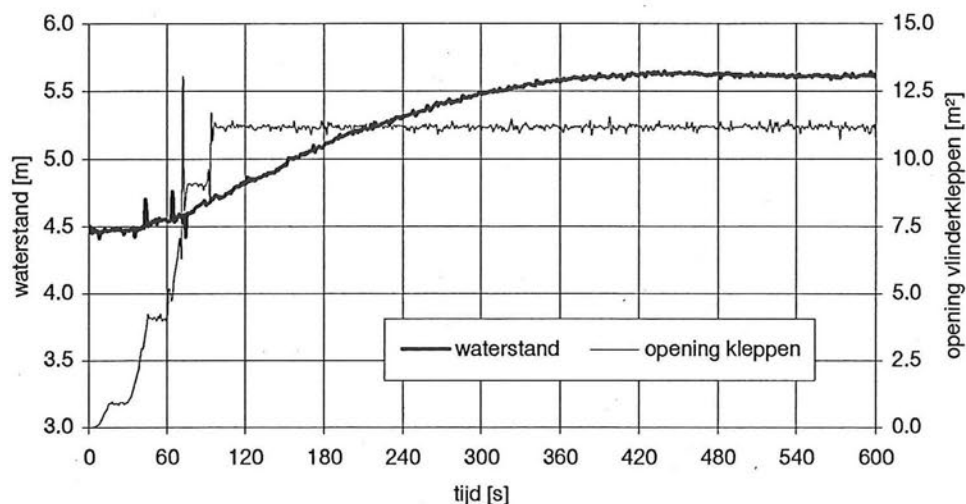


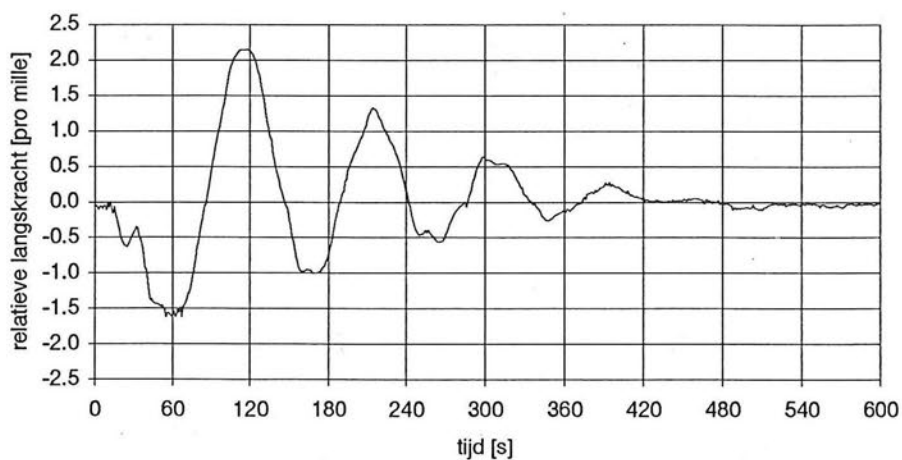
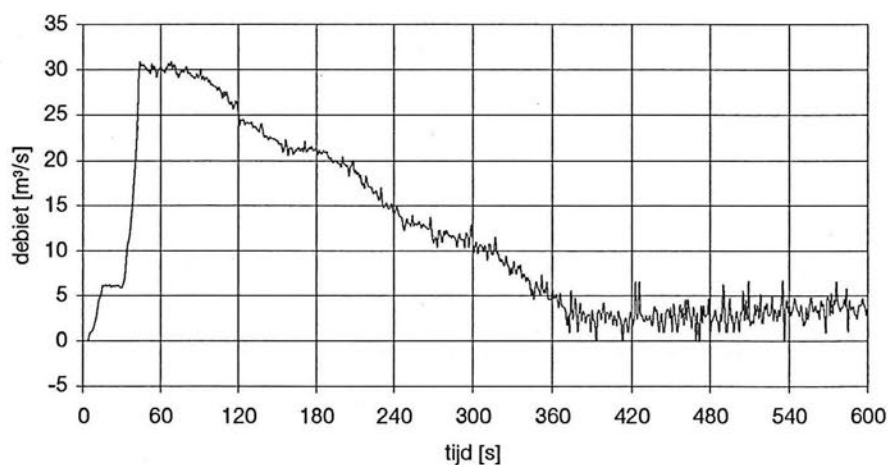
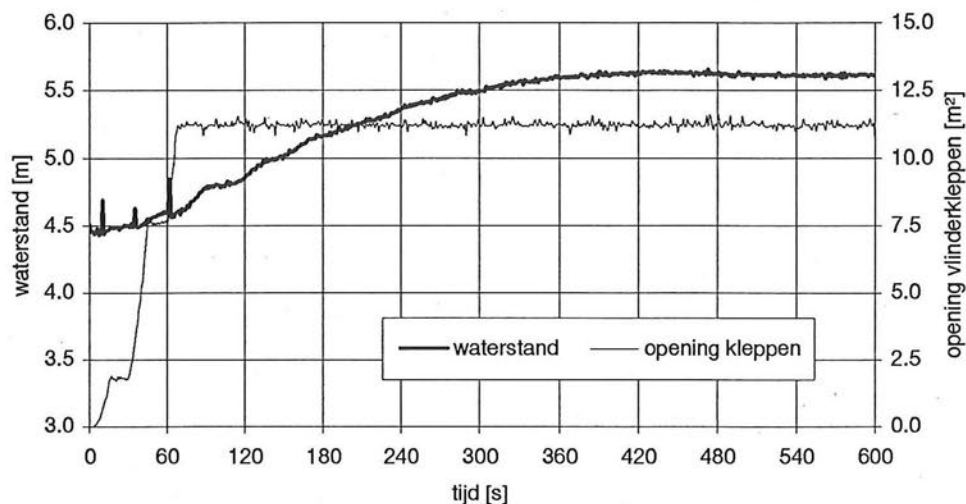


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B055

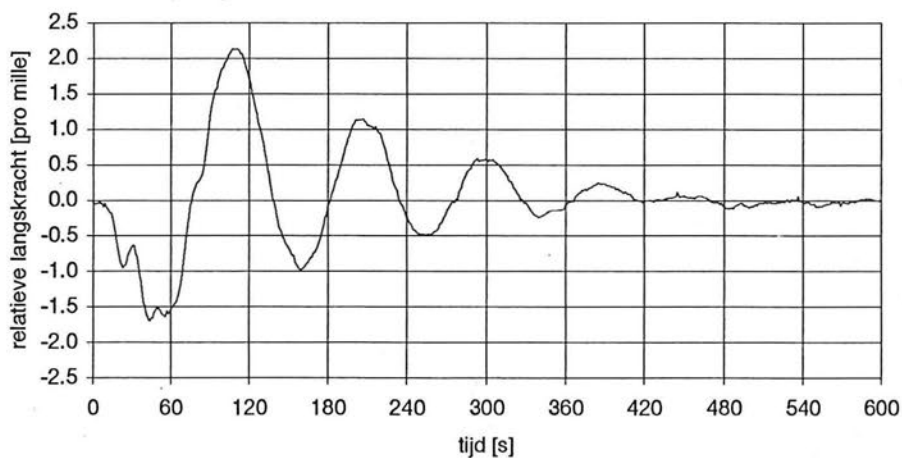
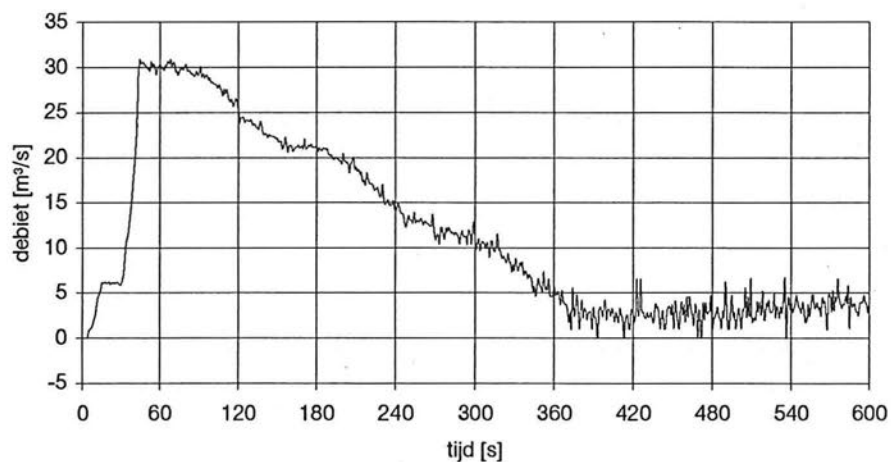
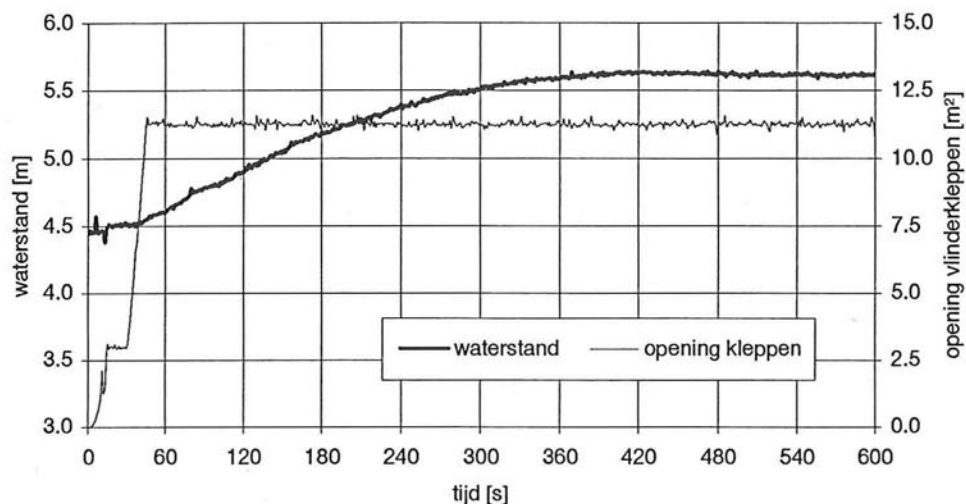


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B056

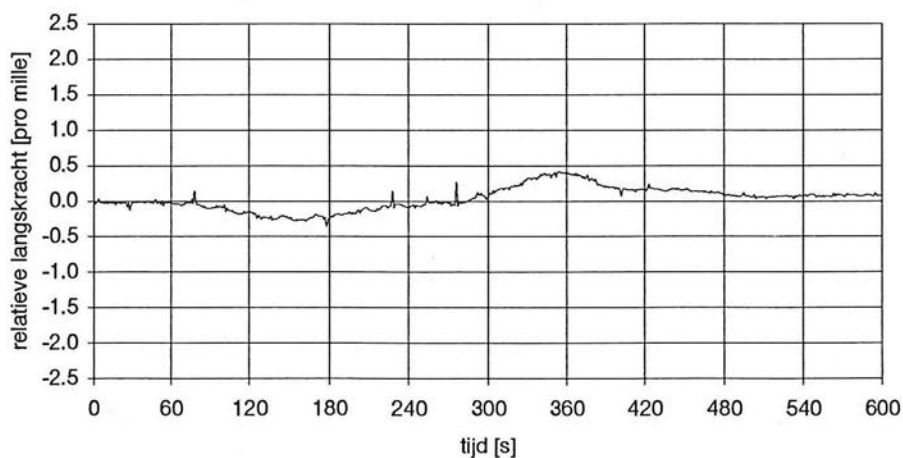
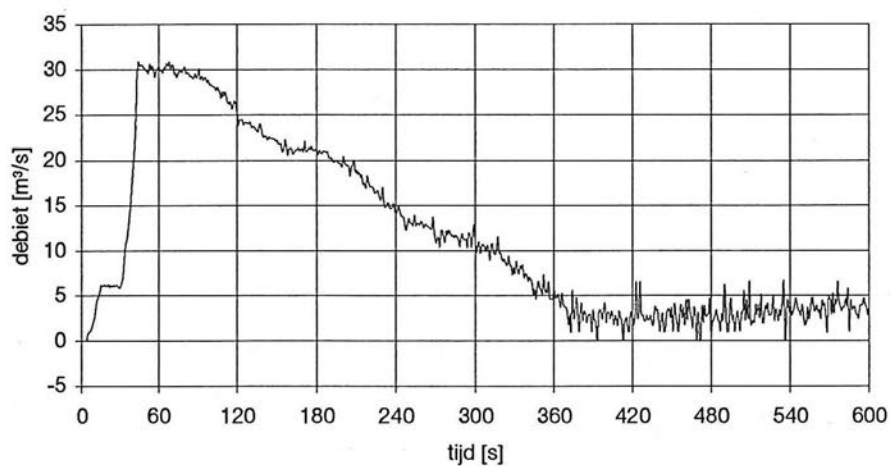
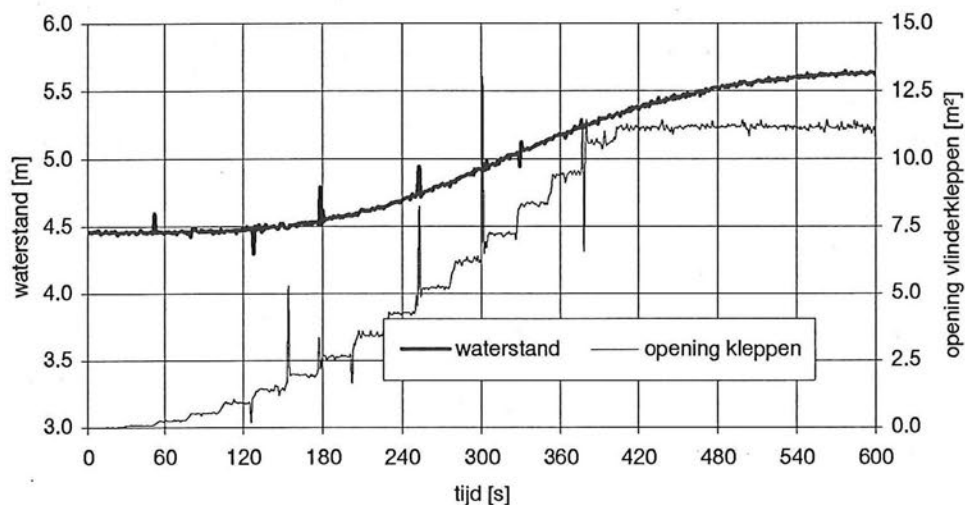


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B057


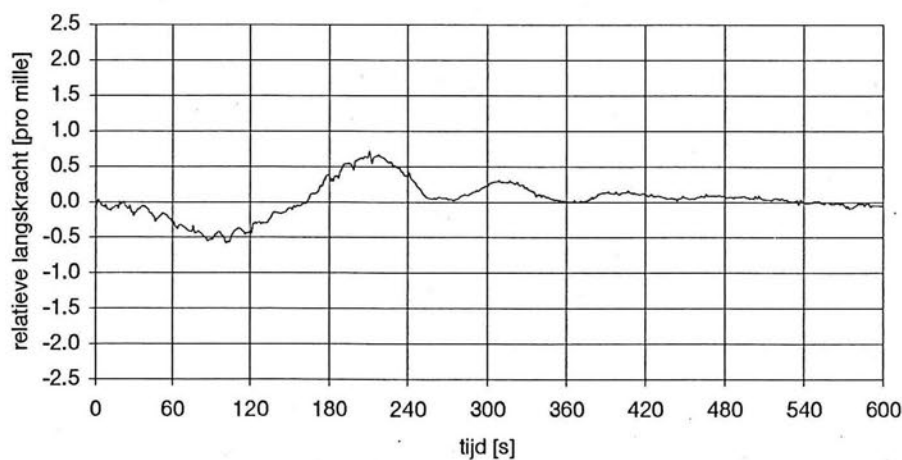
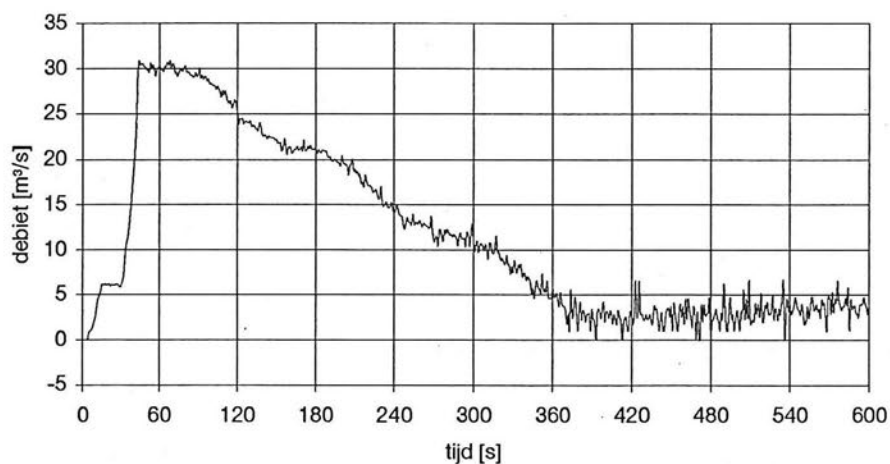
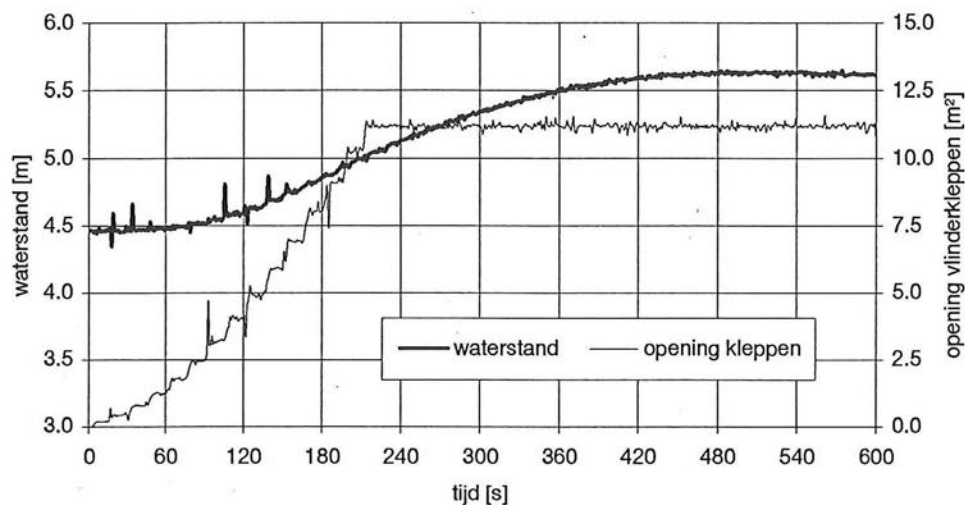
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B058



VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B059

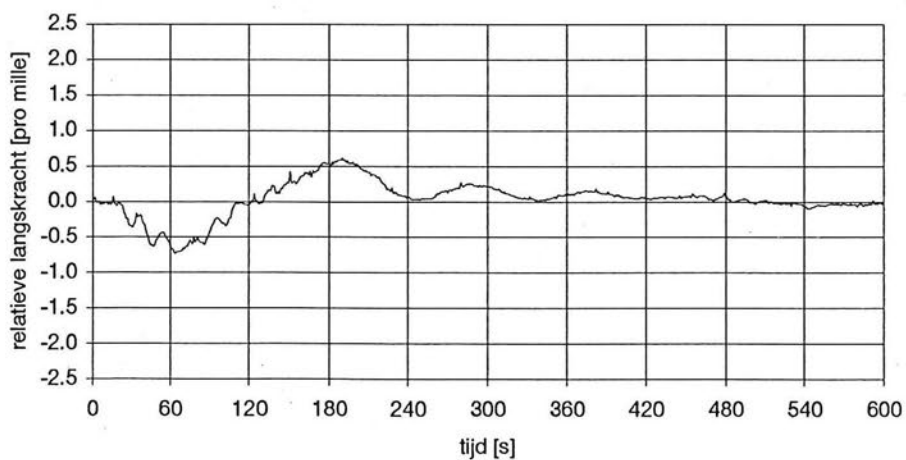
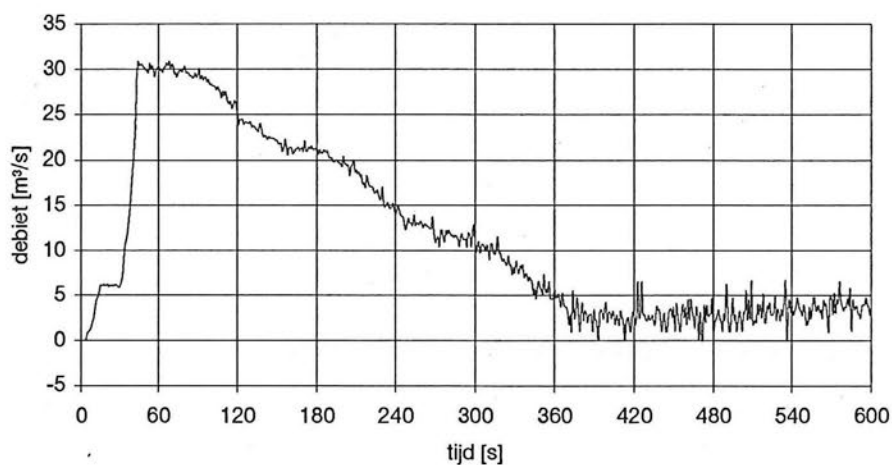
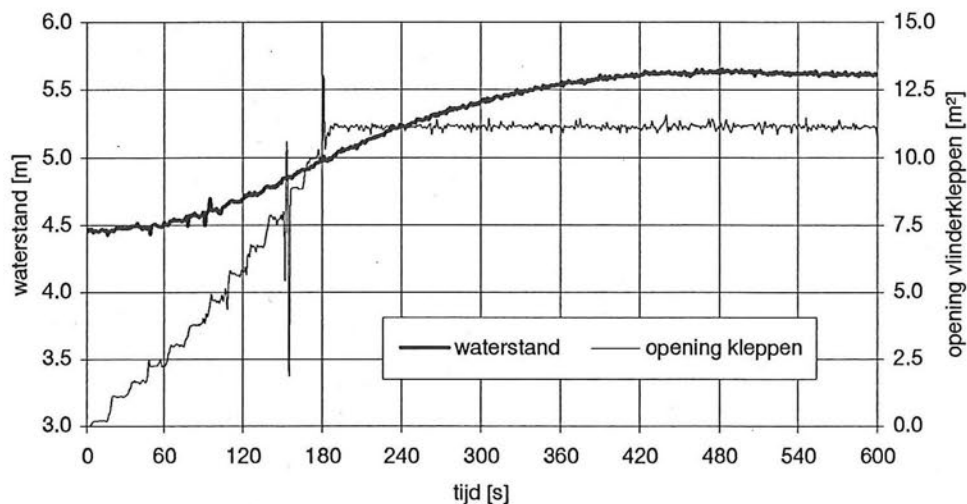


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B060



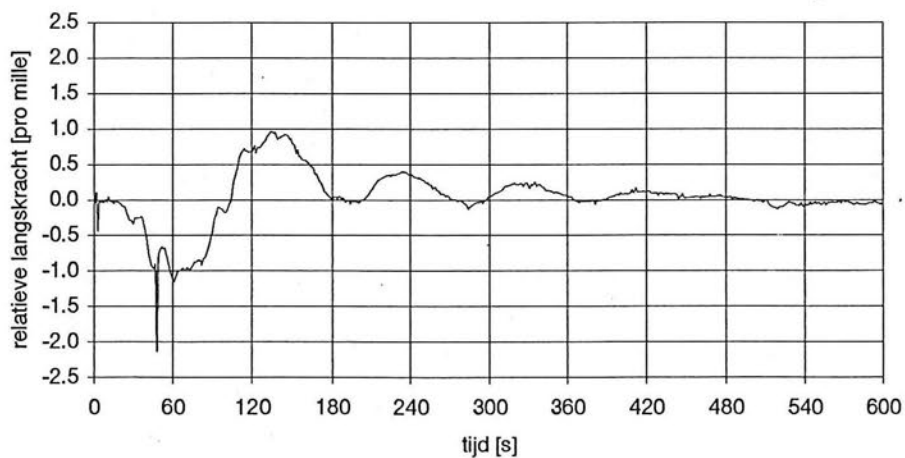
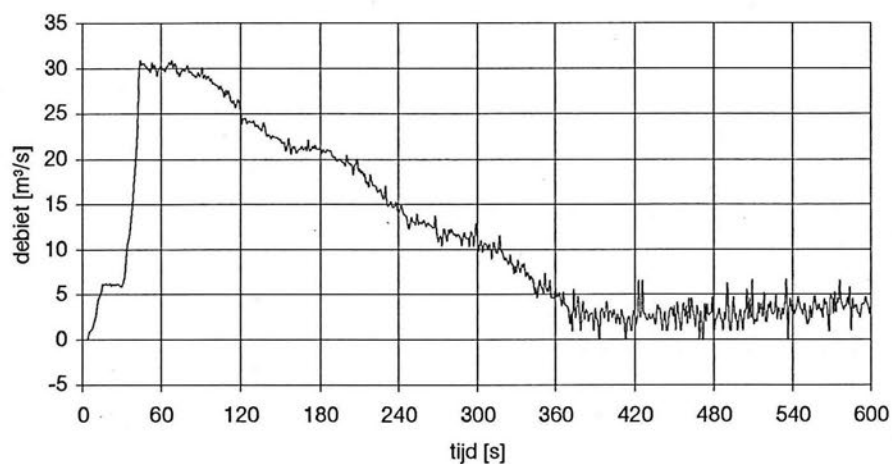
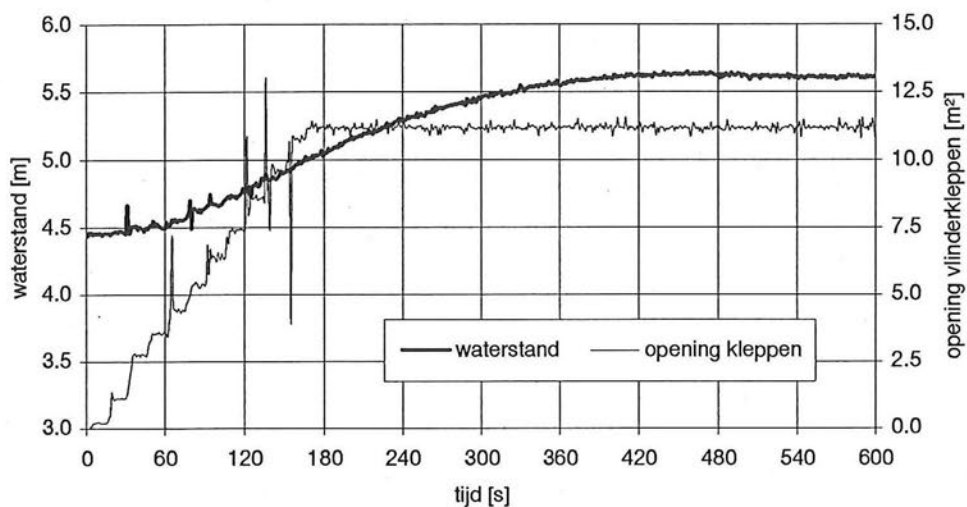


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B061



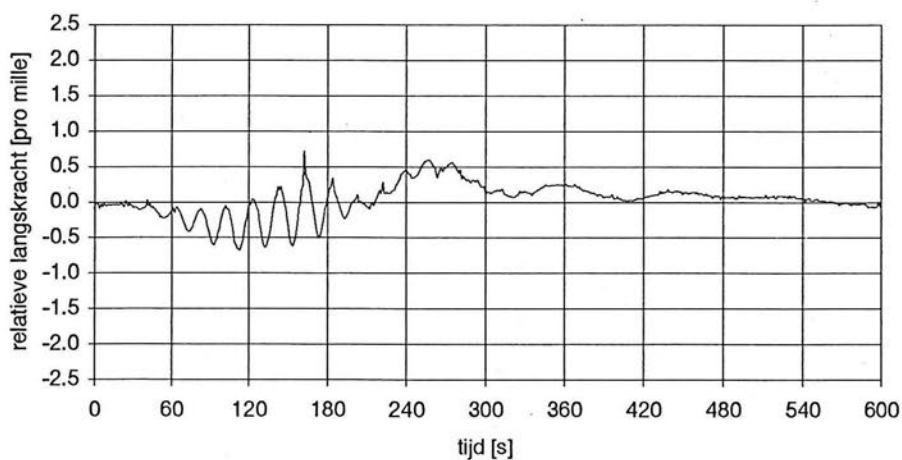
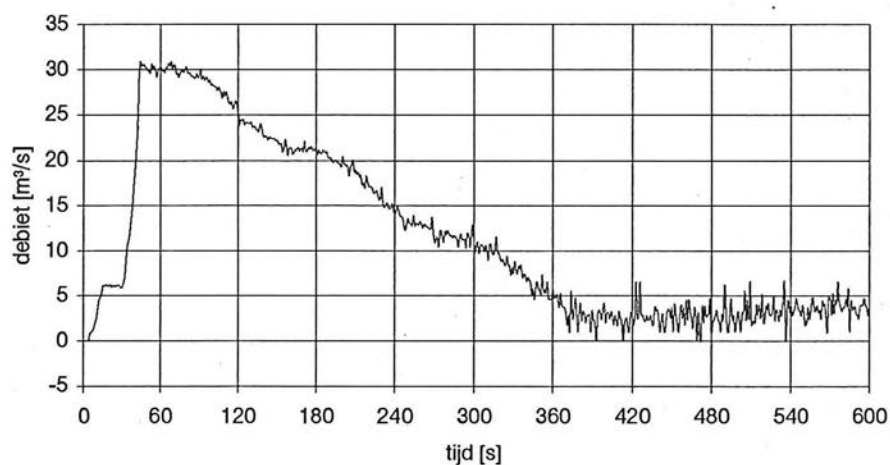
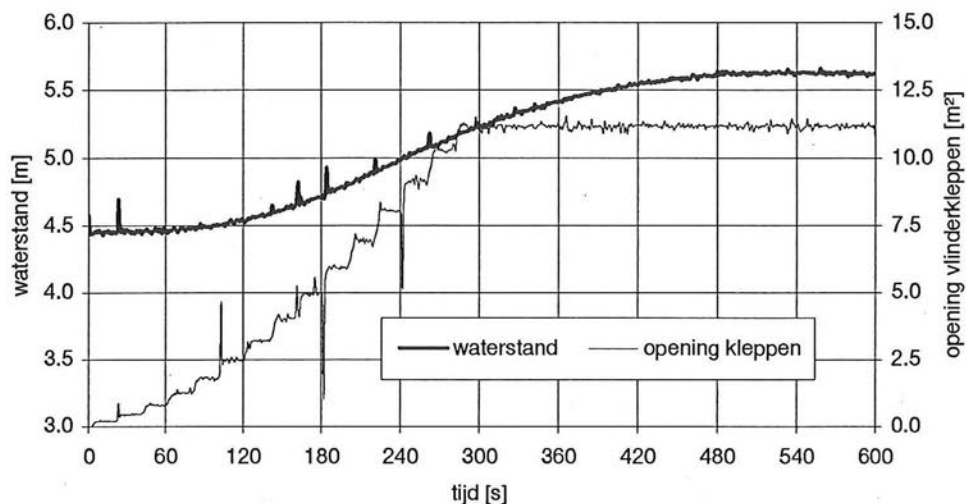


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B062



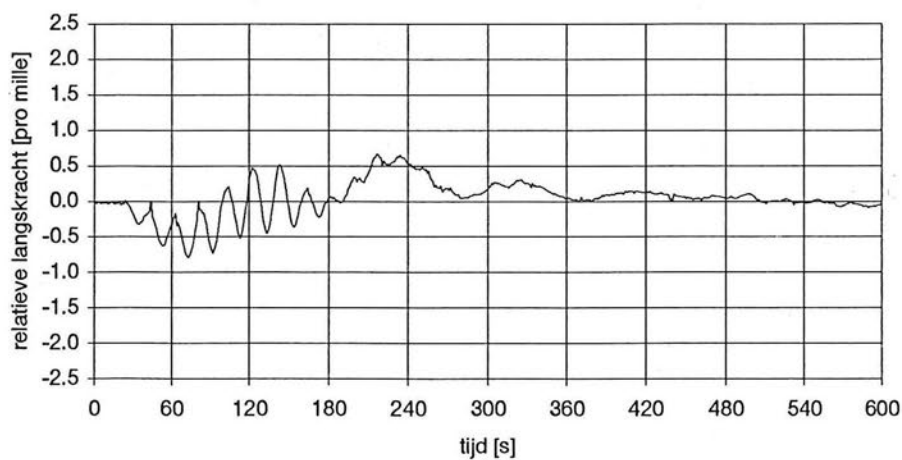
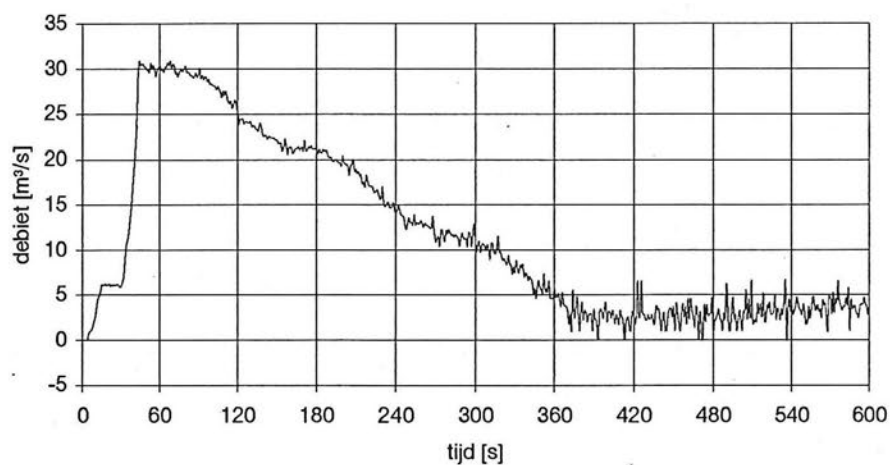
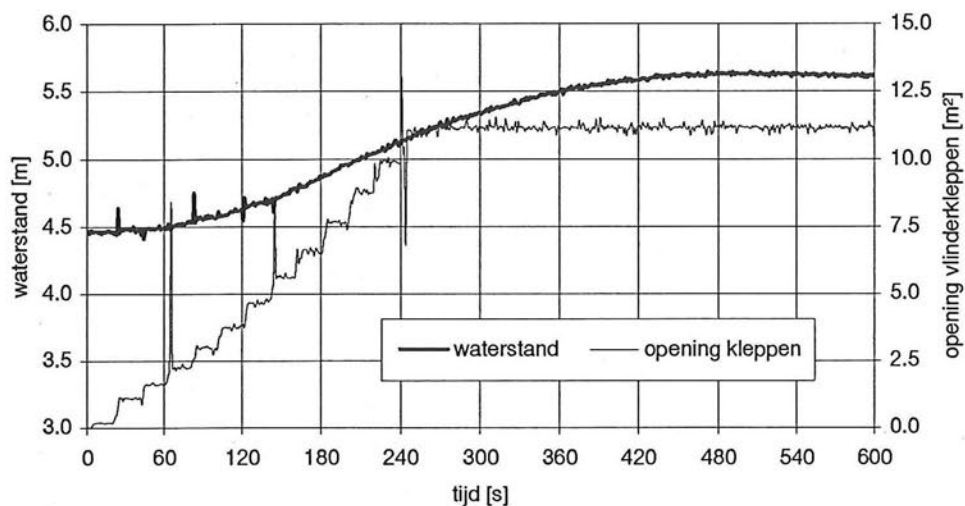


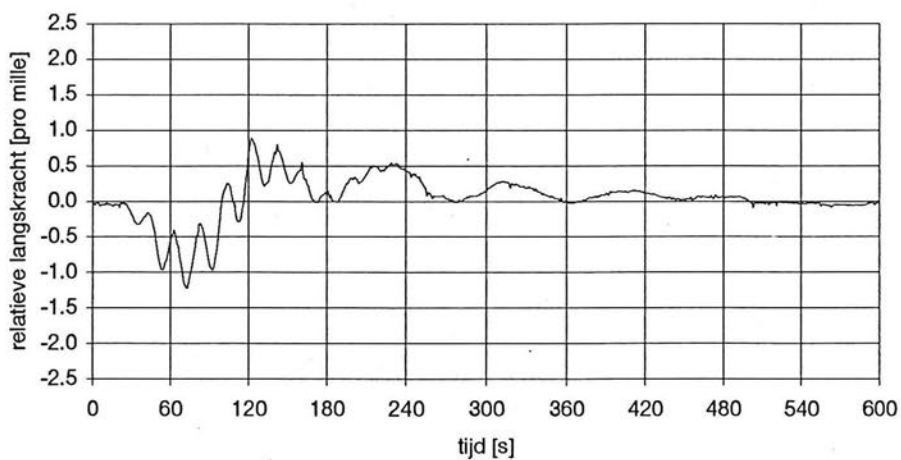
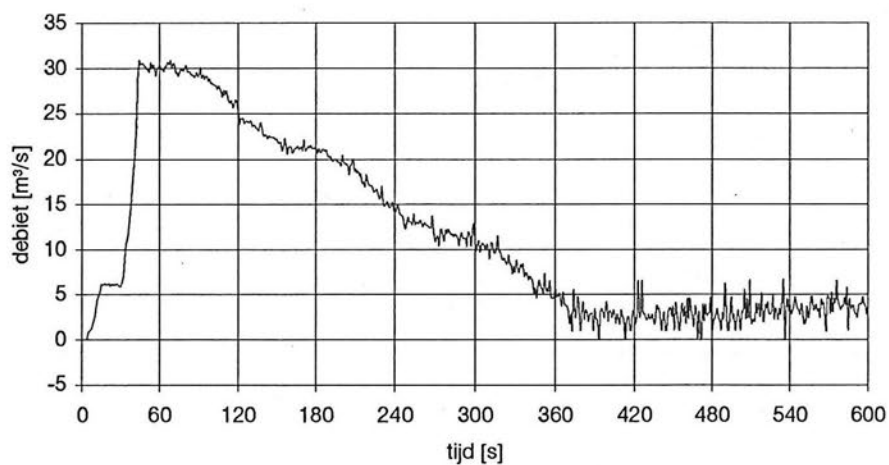
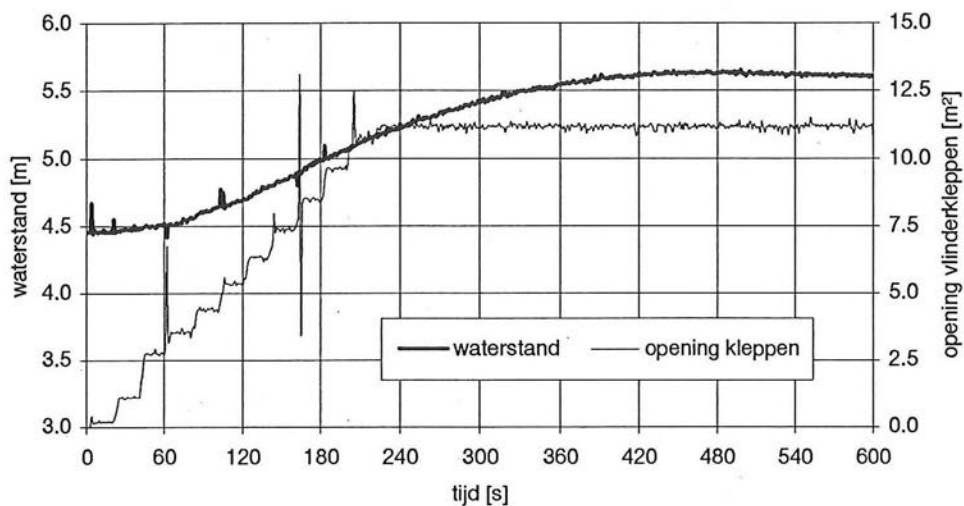
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B063

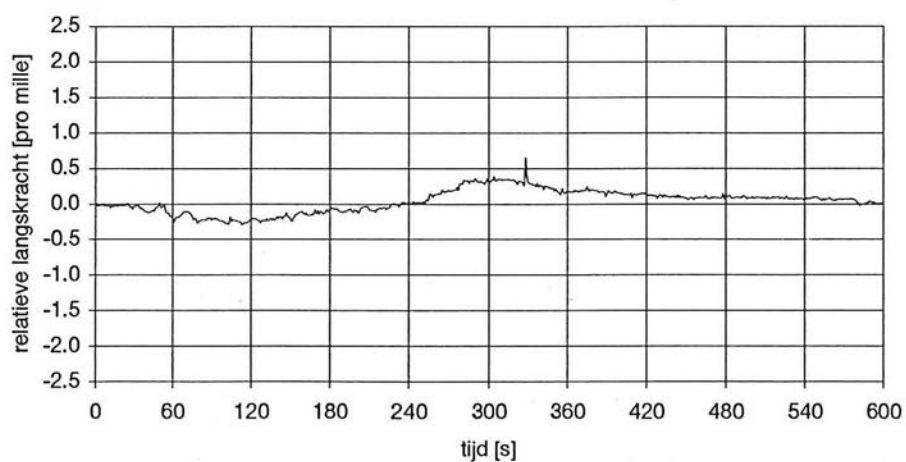
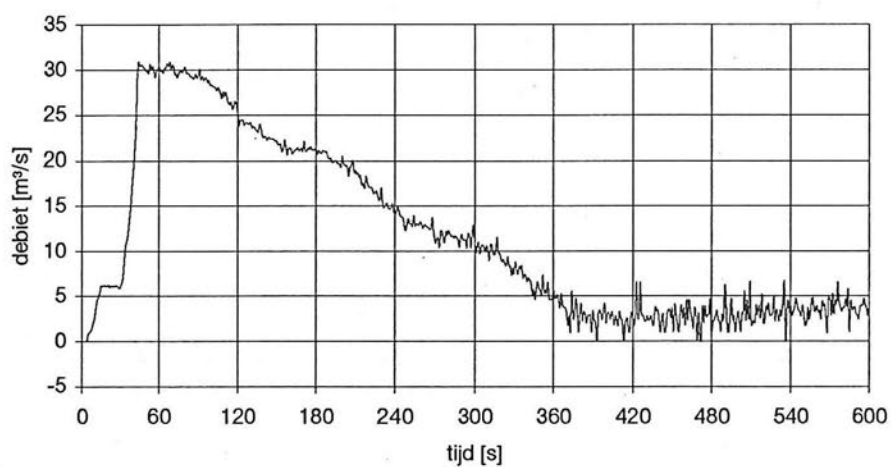
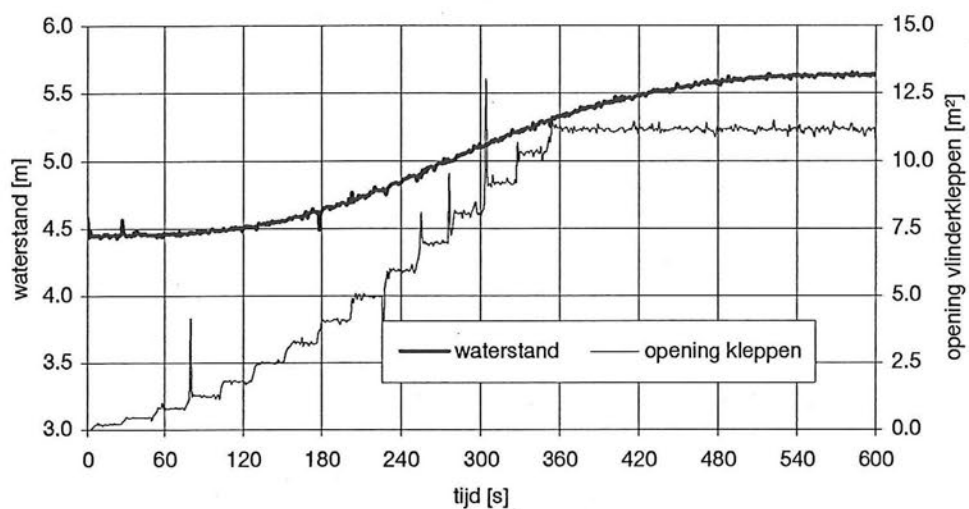




VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B064

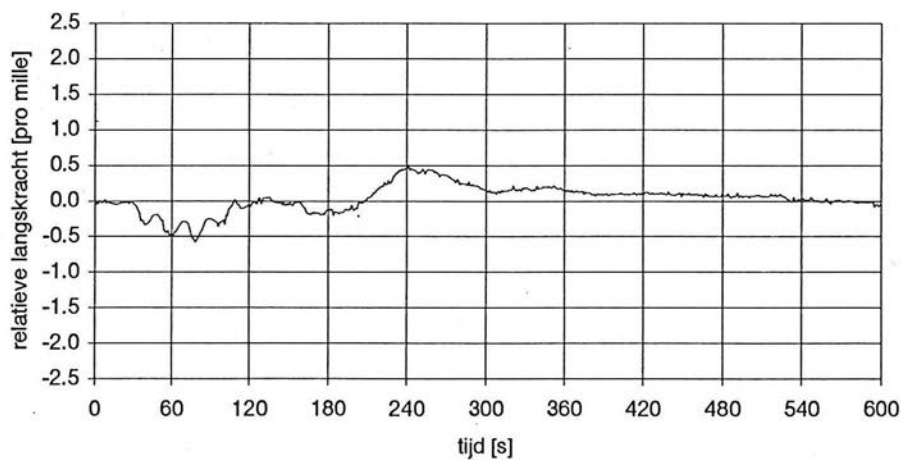
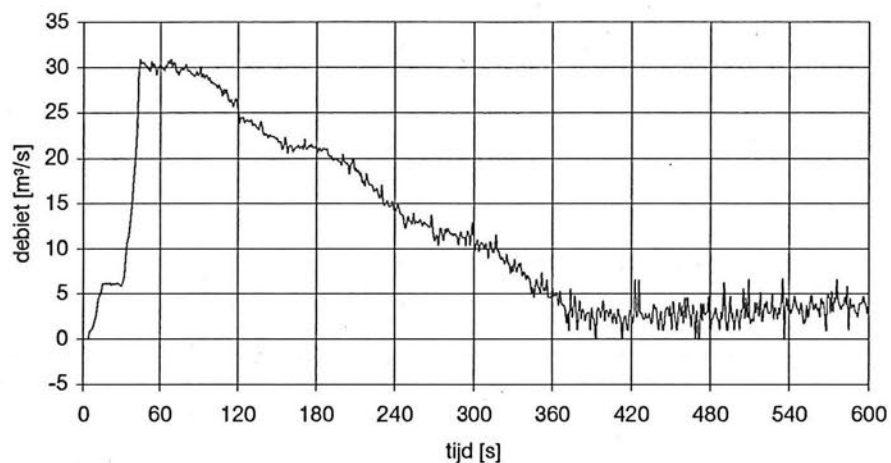
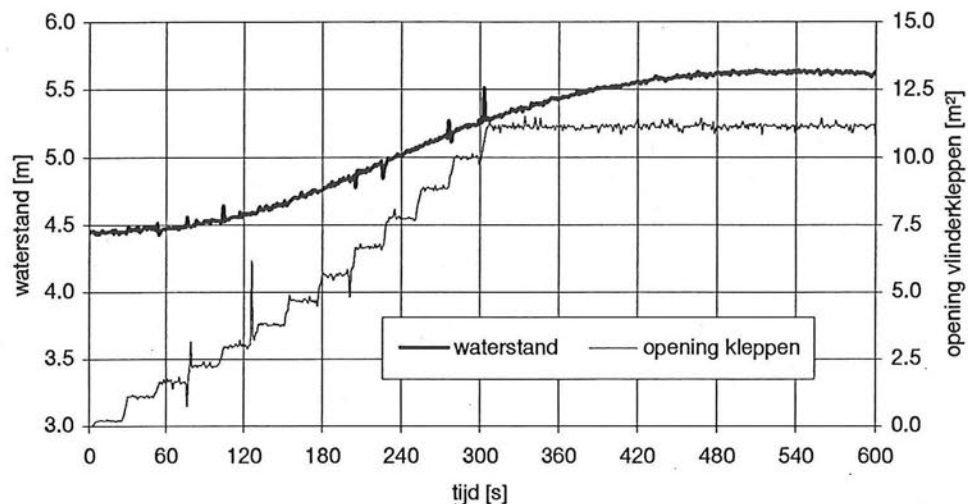


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B065


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B066

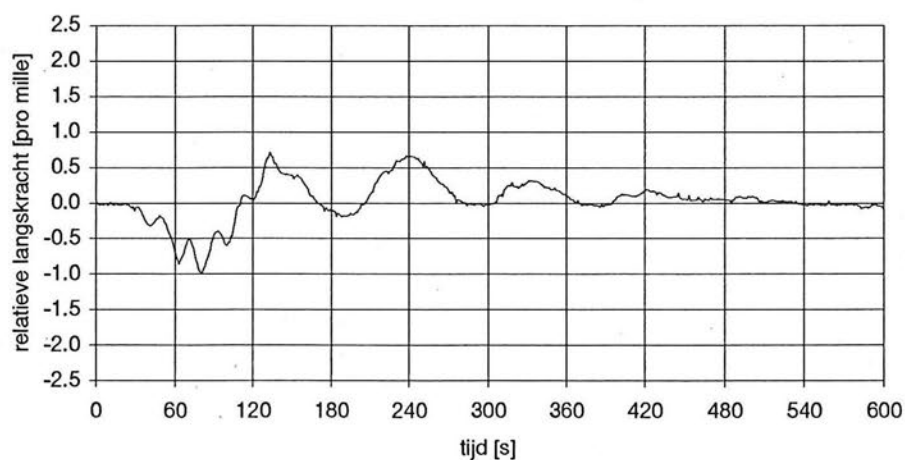
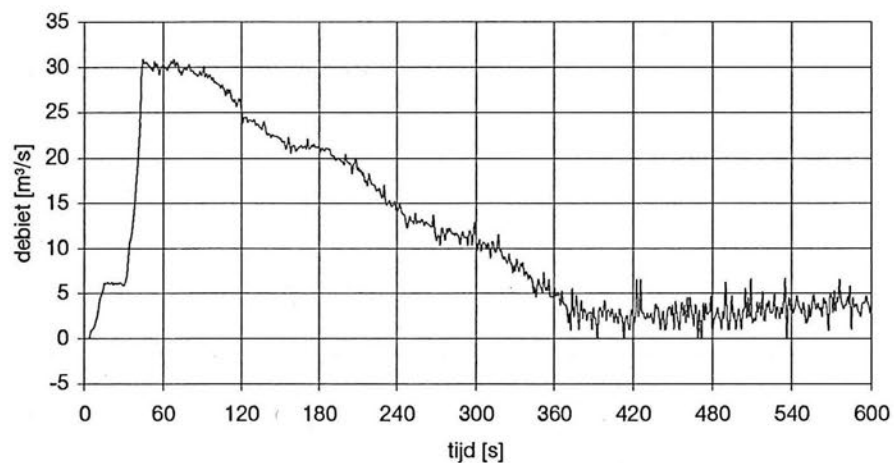
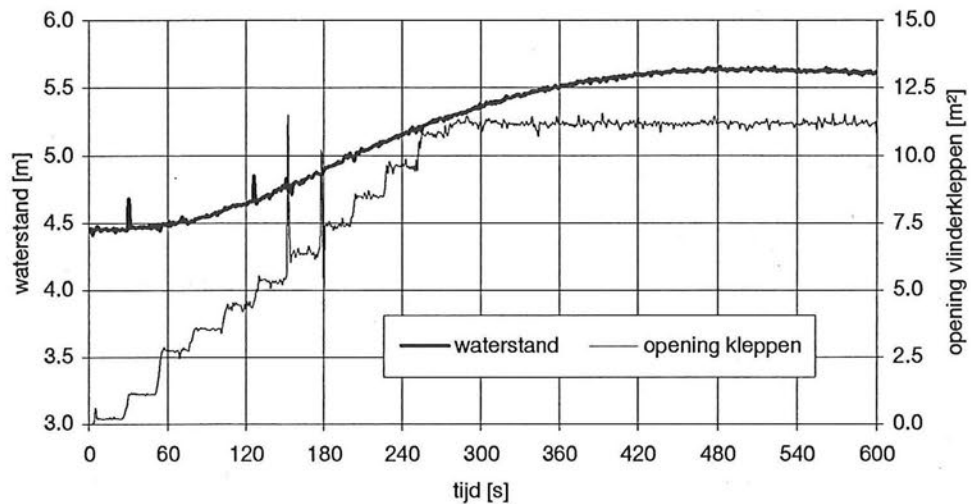


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B067



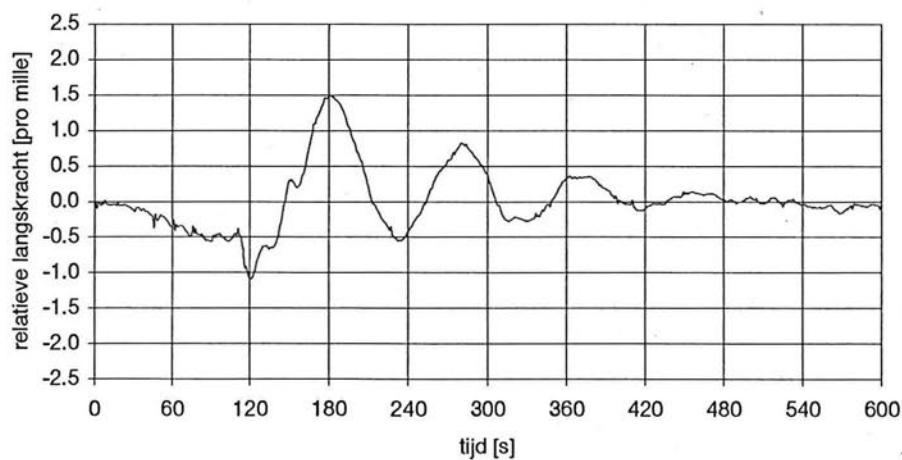
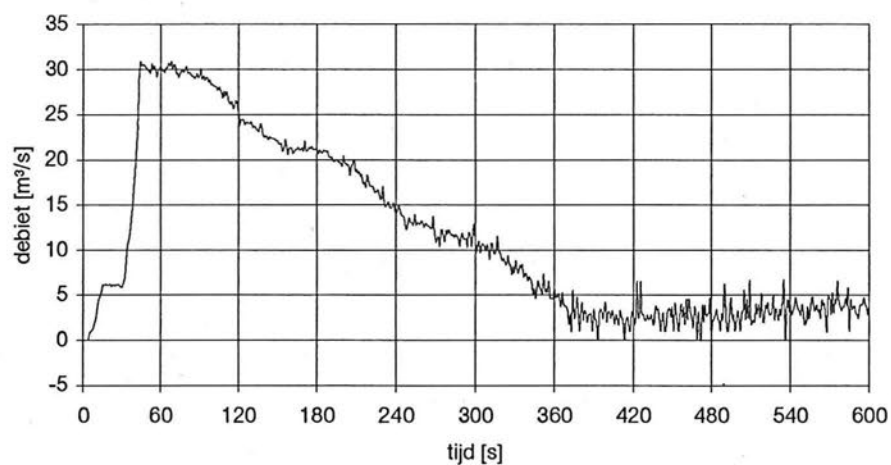
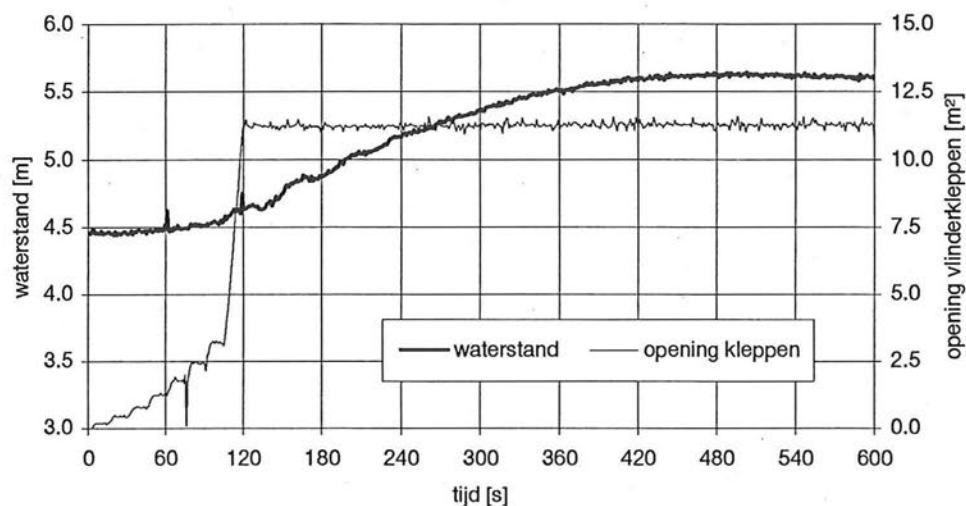


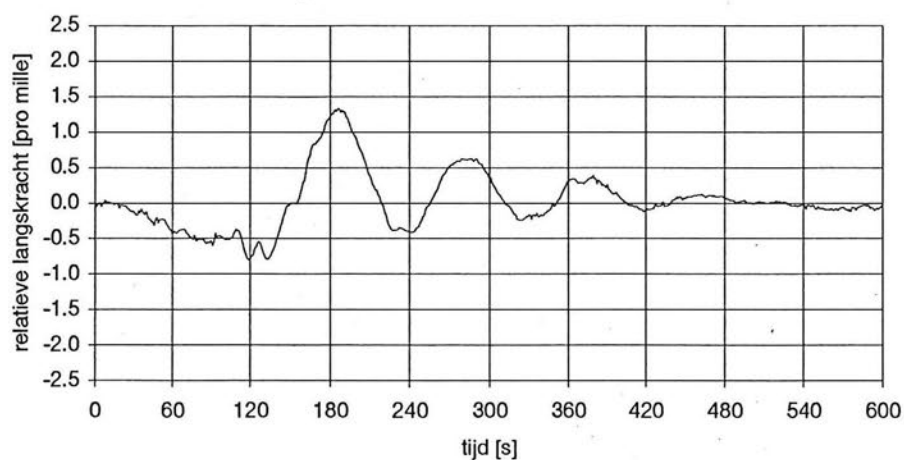
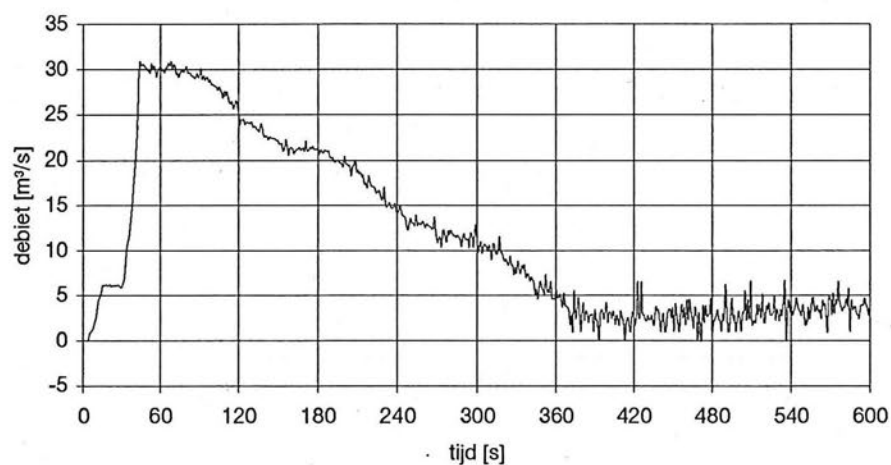
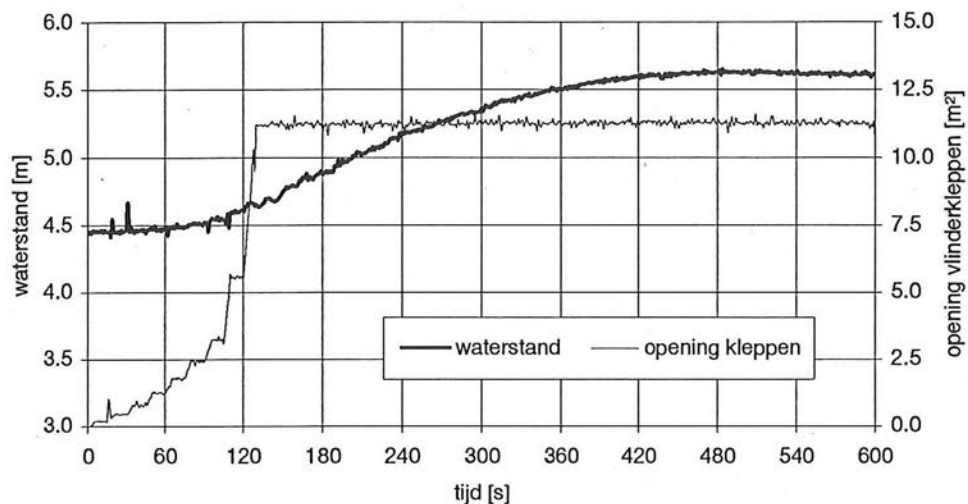
VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B068



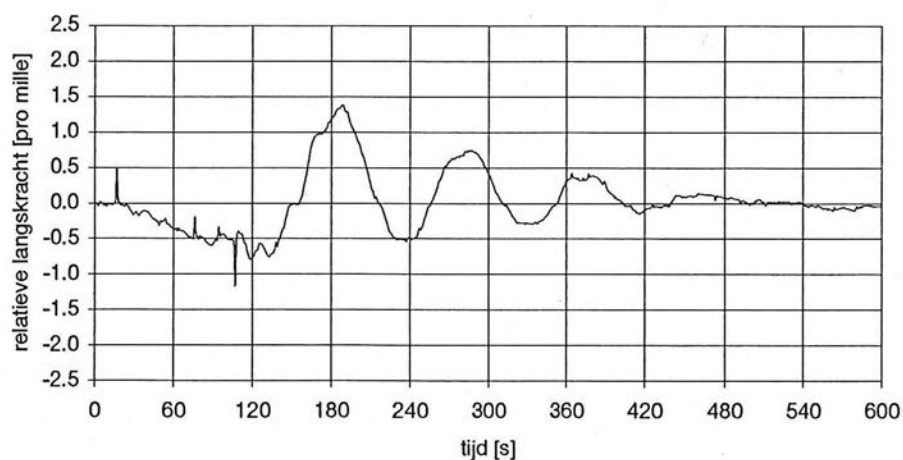
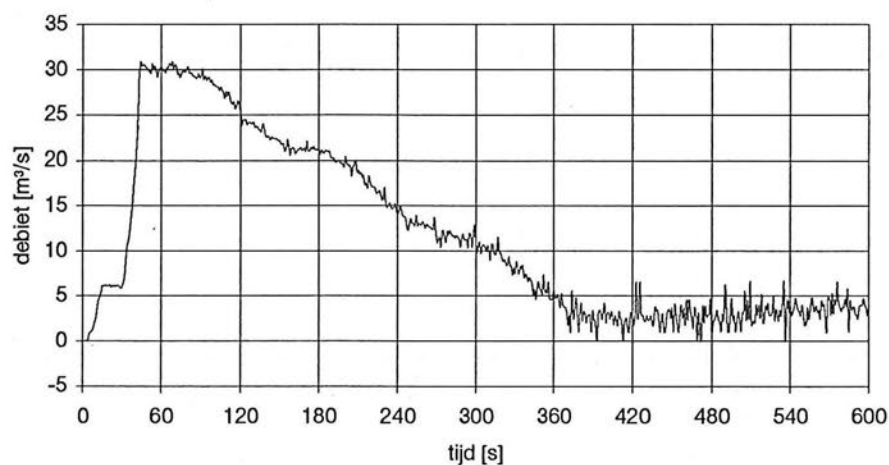
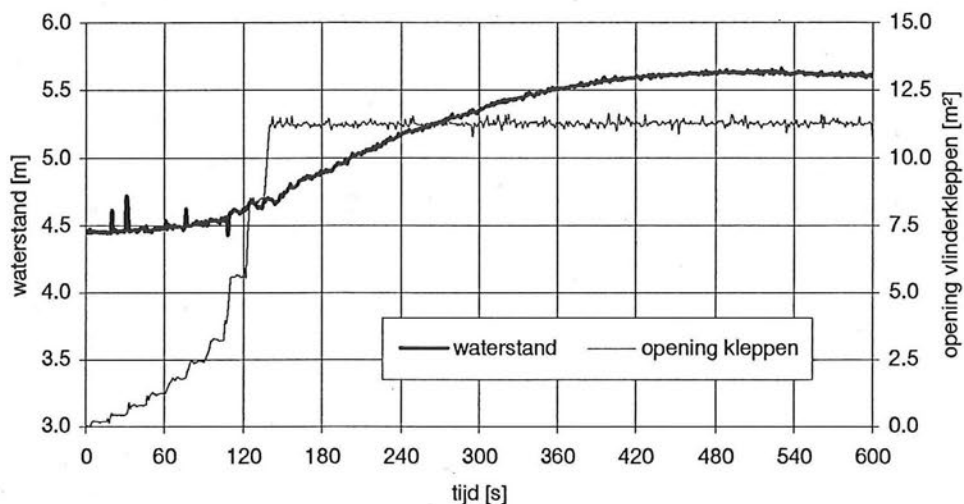


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B069

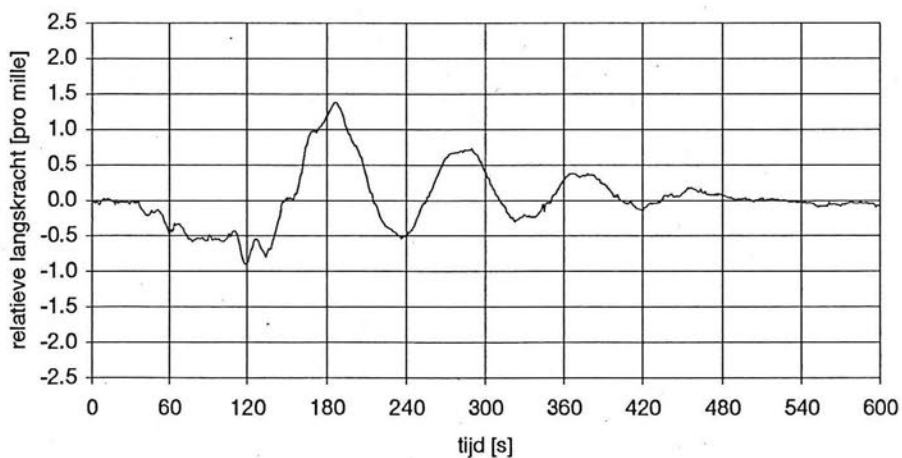
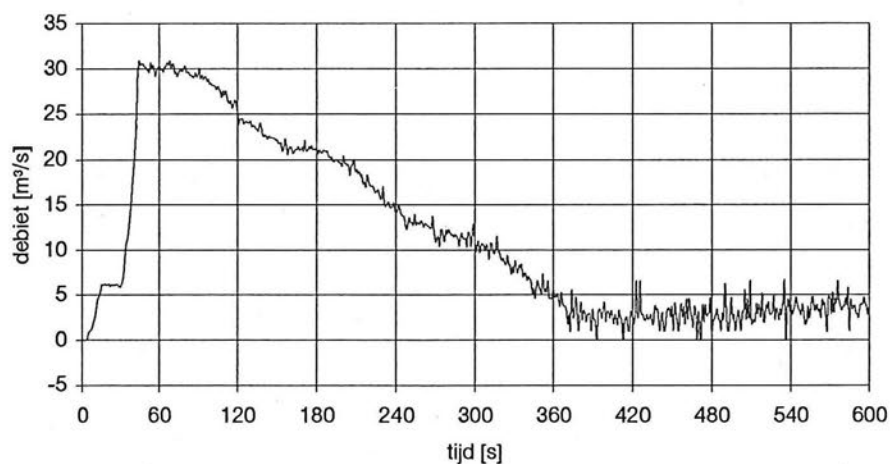
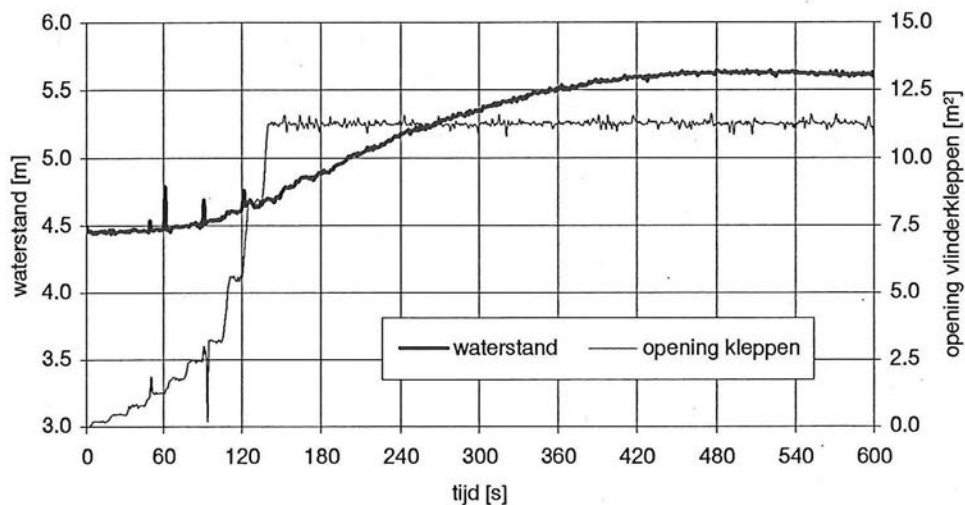


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B070


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B071

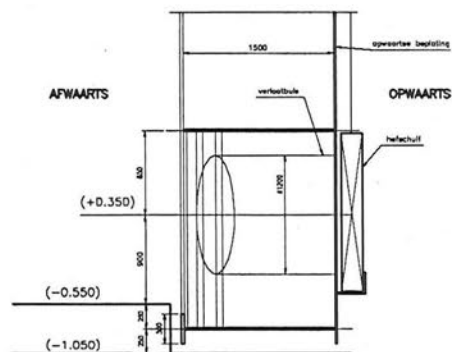


VULLING SLUIS
RESULTATEN PROEF V2B072



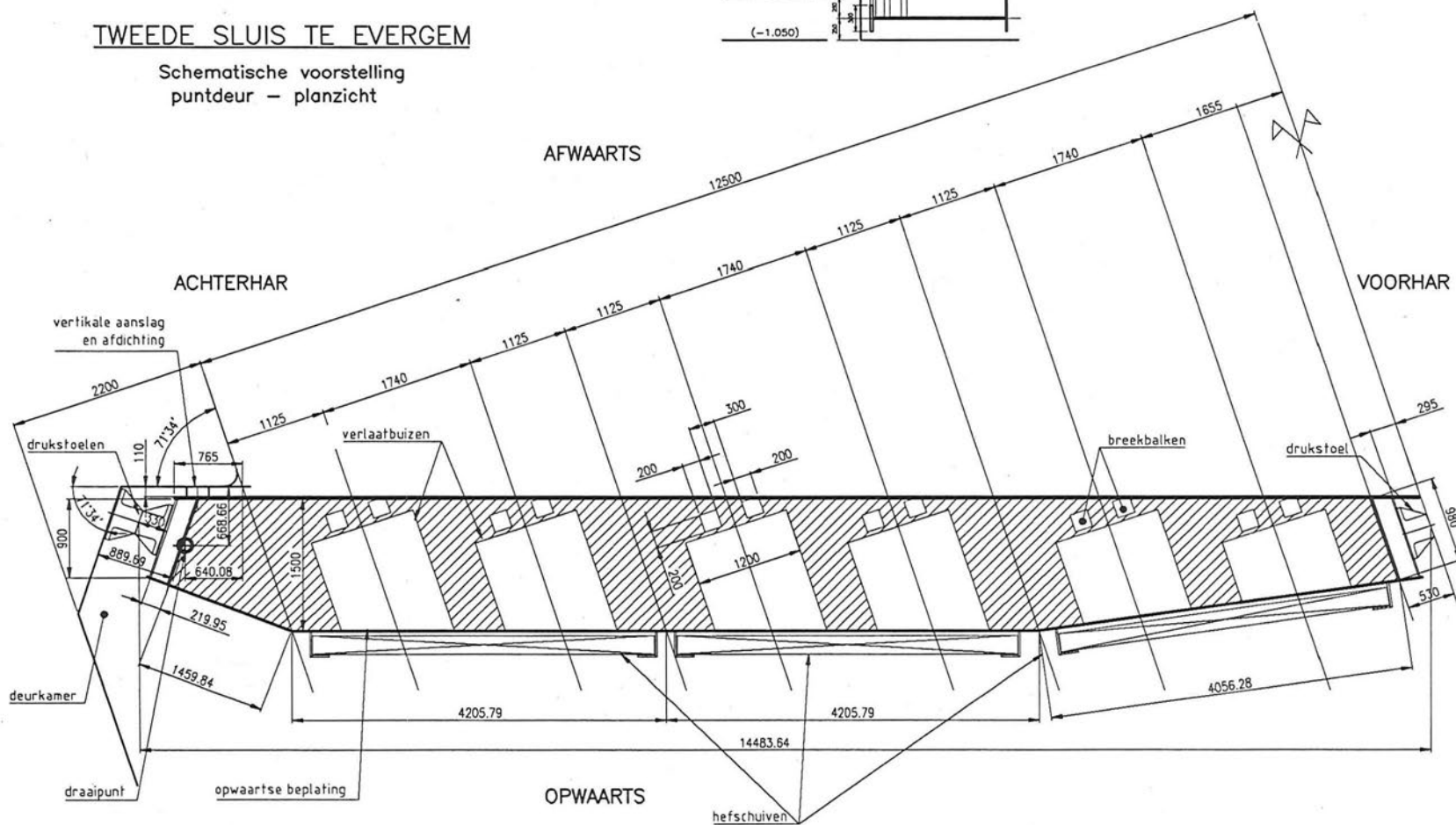
TWEEDE SLUIS TE EVERGEM

Schematische voorstelling
Onderste gedeelte - dwarsdoorsnede

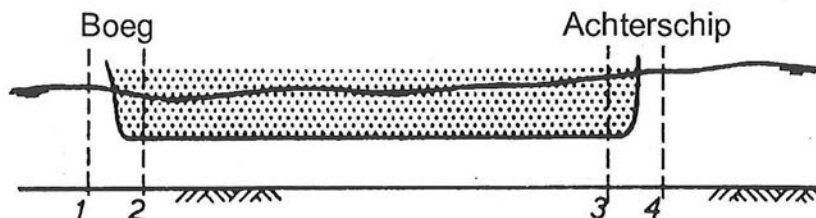


TWEEDE SLUIS TE EVERGEM

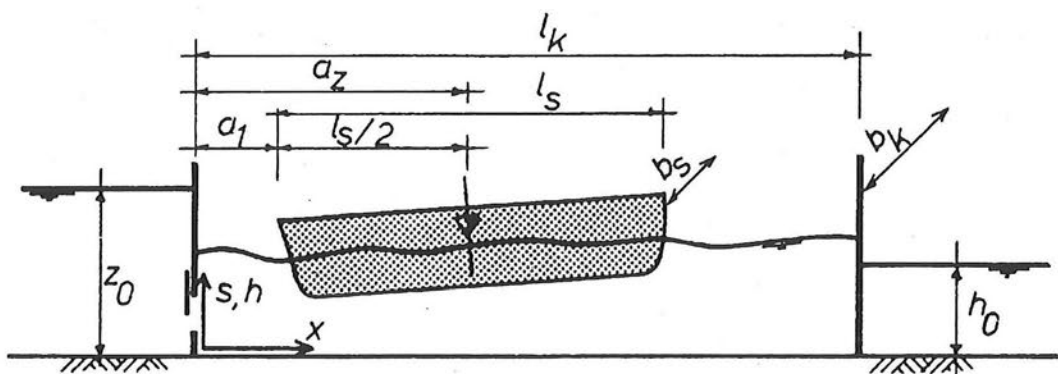
Schematische voorstelling
puntdeur – planzicht



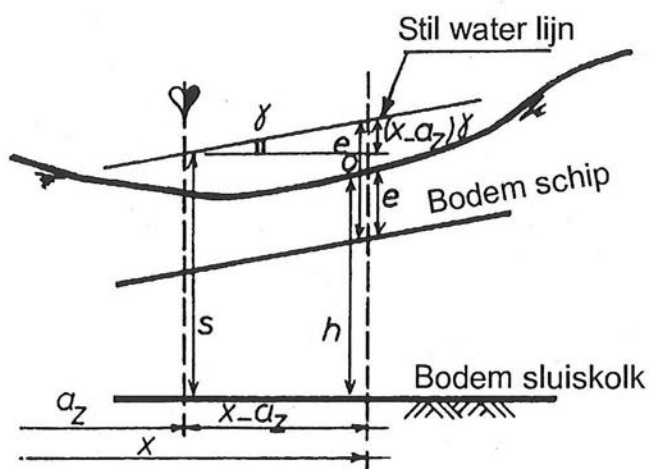
SCHEMATISATIE VAN NUMERIEK MODEL



Boeg en achterschip



Ligging in de sluiskolk



Definities van diepgang, dompen en stampen



Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
Administratie Waterwegen en Zeewezen
Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium
en Hydrologisch Onderzoek

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

Berchemlei 115
B- 2140 BORGERHOUT (Antwerpen)
tel. 32(0)3/236 18 50
fax 32(0)3/235 95 23
e-mail: flanders.hydraulics@lin.vlaanderen.be
watlab@lin.vlaanderen.be

<http://watlab.lin.vlaanderen.be>

FLANDERS HYDRAULICS

**WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM**

**FLANDERS
HYDRAULICS**



ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
departement Leefmilieu en Infrastructuur
administratie Waterwegen en Zeewezen
afdeling Waterbouwkundig Laboratorium